DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Elfter Jahrgang. 25. Mai 1923. Heft 21.

## Die Rolle des Luftsauerstoffs bei der Abwasserreinigung.

*Von Hans Stooff, Berlin-Dahlem*[1]).

Die in der Natur bei der Zersetzung organischer Stoffe pflanzlicher und tierischer Herkunft beobachteten Erscheinungen bestehen aus einer Reihe von neben- und nacheinander sich abspielenden Vorgängen, die man in *chemischer* Beziehung vor allem in ihrem Verhältnis zum *Sauerstoff*, dem wirksamen Bestandteil der Luft, zu unterscheiden versucht hat[2]).

Bei ungehindertem Zutritt der atmosphärischen Luft werden die organischen Stoffe unter Bildung von Kohlendioxyd, Wasser, Ammoniak u. a. verflüchtigt, wobei die von ihnen eingeschlossenen Mineralstoffe frei werden und zum größten Teil hierdurch in eine aufnehmbare Form übergehen. Dieser Vorgang, den man seit *Liebig* als *Verwesung* bezeichnet, beruht also auf einer Oxydation, einer langsamen Verbrennung der organischen Stoffe durch den Sauerstoff der Luft. Das entstandene Ammoniak wird in der Regel weiter zu Salpeter- und salpetriger Säure oxydiert („Nitrifikation").

Unter beschränktem Luftzutritt oder völligem Luftabschluß entstehen weniger gasförmige Produkte, die je nach der Art der sich zersetzenden Stoffe und den äußeren Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit usw.) durch Kohlendioxyd, Methan, Wasserstoff, Schwefel-, Phosphorwasserstoff, niedere Stickstoffoxyde u. a. vertreten sind, dafür mehr feste, der weiteren Zersetzung in ziemlich hohem Grade widerstehende Massen (Humusstoffe). Letztere zeigen neben stickstofffreien stickstoffhaltige Verbindungen und schließen die Mineralstoffe zum größten Teil in nicht assimilierbarer Form ein.

Handelt es sich vorwiegend um Eiweißkörper und verwandte organische Stoffe, so bezeichnet man die bei Sauerstoffmangel oder -abschluß vor sich gehenden Zersetzungen seit jeher als *Fäulnis*. Jene Stoffe werden unter Abspaltung von Ammoniak zu aromatischen Aminosäuren (z. B. Phenylalanin, Tyrosin, Tryptophan) reduziert, die weiter zu reinen Aminosäuren (z. B. Glykokoll, Leucin, Asparagin), aromatischen Oxysäuren, Fettsäuren, organischen Basen (z. B. Cholin), Indol, Skatol, Phenol, Aminen, Merkaptanen, Schwefelwasserstoff, Kohlendioxyd u. a. abgebaut werden. Ein Teil der zuletzt genannten Verbindungen ist leicht flüchtig und verursacht „fauligen" Geruch. Freier Stickstoff wird nicht unmittelbar bei der Fäulnis gebildet, sondern nur bei Gegenwart von Nitraten oder Nitriten in Fäulnisgemischen abgespalten („Denitrifikation"). Der Abbau der Eiweißkörper schreitet bei Luftabschluß nur bis zur Bildung noch ziemlich hoch zusammengesetzter organischer Verbindungen fort; erst bei Sauerstoffzutritt, d. h. durch Oxydation, werden gewöhnlich jene Zwischenprodukte (z. B. Aminosäuren, Fettsäuren) weiter zerstört. Infolge des Überschusses an Ammoniak ist die Reaktion des schließlich entstandenen Körpergemisches in der Regel alkalisch.

Bei reichlichem Vorhandensein von Kohlenhydraten (z. B. Zellulose, Stärke, Zucker, Gummiarten, Pektinstoffe), fettsauren Kalksalzen u. a. nennt man die meistens bei beschränktem Luftzutritt stattfindenden, durch lebhafte Gasentwicklung (Kohlendioxyd, Methan, Wasserstoff u. a., häufig verbunden mit Schaumbildung) und das Auftreten von Alkoholen und organischen Säuren (z. B. Essig-, Butter-, Milchsäure) gekennzeichneten Zersetzungen *Gärung*. Die organischen Säuren bedingen gewöhnlich eine saure Reaktion des Körpergemisches. Eine vollständige Umwandlung der Kohlenhydrate (und ebenso der Fette) erfolgt nur bei Gegenwart von Sauerstoff; sie werden zu Kohlendioxyd und Wasser oxydiert („verbrannt").

Auch bei der Zersetzung des Harnstoffs, der Hippursäure, der Harnsäure und der Purinbasen, die schließlich Kohlendioxyd und Ammoniak ergeben, spielt immer der Sauerstoff eine wichtige Rolle.

Die geschilderten Zersetzungserscheinungen, die keineswegs durch scharfe Grenzen voneinander getrennt sind, sondern zahlreiche Übergänge (z. B. Vermoderung und Vertorfung) zeigen, werden durch *Mikroorganismen* (Bakterien, Pilze, Protozoen u. a.) hervorgerufen oder beschleunigt[3]). Bei den Veränderungen der organischen Stoffe, welche diese Kleinwesen infolge ihrer Lebenstätigkeit (Atmung) bewirken, bedienen sie sich als Hilfsmittel der *Fermente (Enzyme)*. Die Fermente geben als „Katalysatoren" den Kleinwesen die Kräfte, die verschiedenen chemischen Verbindungen anzugreifen, in Lösung zu bringen, hydrolytisch zu spalten, zu vergären, zu reduzieren, zu oxydieren usw. Durch Säuren und Alkalien in größeren Mengen, durch Protoplasmagifte (z. B. Schwefelwasserstoff, Sublimat, Phenol, Alkohol) und durch die Anhäufung von

[1]) Aus der Preuß. Landesanstalt für Wasserhygiene (Chemische Abteilung).

[2]) *E. Wollny*, Die Zersetzung der organischen Stoffe und die Humusbildungen, Heidelberg 1897.

[3]) *W. Kruse*, Allgemeine Mikrobiologie, Leipzig 1910.

Zersetzungsprodukten, ferner durch gegenseitige Schädigung werden die Fermente gehemmt bzw. gestört. Gewisse Metallsalze (z. B. des Eisens und des Mangans) fördern die Fermentwirkung. Je nach ihrer spezifischen Wirkung unterscheidet man *esterspaltende* Fermente, welche die Fette, *peptidspaltende*, welche die Eiweißkörper, und *acetalspaltende*, welche die Kohlenhydrate abbauen. Außer diesen Hauptgruppen, die in erster Linie die Zersetzung hochmolekularer Verbindungen bewirken, kennt man z. B. Amidasen, die aus Amiden Ammoniak abspalten, Alkoholasen, die Alkohole zu Fettsäuren oxydieren, während die Fermentwirkung bei anderen Oxydations- und bei Reduktionsvorgängen noch umstritten ist.

Entsprechend den durch die Gegenwart oder Abwesenheit von Luftsauerstoff gekennzeichneten Vorgängen hat man häufig auch die Mikroorganismen nach ihrem Sauerstoffbedürfnis in „aerobe", „anaerobe" und außerdem noch „fakultativ anaerobe" eingeteilt; letztere sollen mit oder ohne Sauerstoff leben können. Scharfe Grenzen gibt es jedoch auch hier nicht.

Einen besonderen Fall der Zersetzung organischer Stoffe stellen die in den *Abwässern des menschlichen Haushalts, der Städte und zahlreicher Gewerbebetriebe* sich abspielenden Vorgänge dar. Die genannten Abwässer enthalten, von den menschlichen Ausscheidungen, vom Wasserverbrauch für hauswirtschaftliche und öffentliche Zwecke, von Abgängen der Gewerbebetriebe (z. B. Schlachthöfe, Gerbereien, Brauereien, Molkereien, Stärkefabriken) herrührend, ungelöste („suspendierte"), kolloid und wirklich gelöste Schmutzstoffe organischer Natur, deren Verhalten schon mit Rücksicht auf die Gesundheit des Menschen eingehend untersucht worden ist[4]). Hierbei hat sich gezeigt, daß die Zersetzungserscheinungen dieser Stoffe ebenfalls durch von den Abwässern mitgeführte Bakterien u. a. Kleinwesen (z. B. Schimmelpilze, Hefen, Flagellaten, Ciliaten, Rädertiere, niedere Würmer), unter Mitwirkung bzw. Bildung von Fermenten (Enzymen), hervorgerufen und durch die Gegenwart oder Abwesenheit von Luftsauerstoff beeinflußt werden.

Läßt man ein rohes Abwasser mit seinen ungelösten Schmutzstoffen (z. B. Fäkalien, Papier, Küchenabfällen, Holzteilen, tierischen und pflanzlichen Fasern, Straßenkehricht, gewerbliche Abgänge) längere Zeit in Berührung, so finden in den als Schlamm abgelagerten Sinkstoffen bei völligem Luftabschluß *Fäulnis- und Gärungsvorgänge* statt. Durch die hierbei reichlich entwickelten Gase, besonders Kohlendioxyd und Methan, wird der abgelagerte Schlamm an die Wasseroberfläche emporgehoben und sinkt nach Austritt der Gase z. T. wieder unter. Auf diese Weise bilden sich meistens allmählich zwei Schichten aus, eine spezifisch schwerere Sinkschicht und eine spezifisch leichtere Schwimmschicht. Zwischen ihnen kann man das flüssige Abwasser zeitweilig stillstehen oder auch ununterbrochen langsam durchfließen lassen. Es wird hierbei ständig in seiner Zusammensetzung verändert. Insbesondere werden in ihm *kolloid gelöste organische Stoffe* (z. B. Eiweißkörper, Stärke, Leim-, Gelatine-, Gummiarten, Gerbstoffe) teils flockig ausgeschieden, teils verflüssigt und in wahre Lösung gebracht oder vergast. Ihre Menge nimmt also ab. Anderseits werden durch die fortschreitende Zersetzung der Sinkschicht dem flüssigen Abwasser dauernd organische Stoffe in kolloider Form zugeführt. Durch diese sich wiederholenden Vorgänge, die je nach der Art des Abwassers mehr die Merkmale der *Fäulnis* (fauliger Geruch, alkalische Reaktion) oder der *Gärung* (Schäumen, saure Reaktion) erkennen lassen, wird ein erheblicher Teil der ungelösten organischen Stoffe „verzehrt", d. h. in eine wasserärmere, nicht mehr zersetzungsfähige, humusähnliche Masse umgewandelt. Von *Fermenten*, die zum Teil mit den obengenannten Abfallstoffen in das Abwasser gelangen, zum Teil von den Mikroorganismen fortdauernd neu gebildet werden, sind in rohen und gefaulten Abwässern hauptsächlich Kohlehydrate (z. B. Diastase, Maltase) und Eiweißkörper (z. B. Trypsin, Pepsin) abbauende nachgewiesen worden, während fettspaltende (z. B. Lipase) sich seltener und gewöhnlich nur in sehr geringer Menge finden[5]). Die wirklich gelösten oder aus dem kolloiden Zustande in wahre Lösung übergeführten organischen Stoffe werden durch die geschilderten Vorgänge nur zu einem Bruchteil umgewandelt. Der Sauerstoffmangel verhindert ihre vollkommene Zersetzung. Im Wasser gelöste sauerstoffhaltige Mineralsalze (z. B. Nitrate, Sulfate) werden meistens zu Ammoniak, Stickstoff[6]), Schwefelwasserstoff reduziert.

Man nennt ein offenes Becken oder eine geschlossene Kammer, in denen man eine derartige Aufspeicherung des Abwassers zum Zwecke der Reinigung vornimmt, einen *Faulraum*. Solche Anlagen waren früher wegen der bequemen Schlammbehandlung vielfach sehr beliebt. Heute werden sie in größerem Maßstabe verhältnismäßig nur noch selten gebaut, weil die bei ihnen

[4]) *Dunbar*, Leitfaden für die Abwasserreinigungsfrage, 2. Aufl., München-Berlin 1912; *Schmidtmann*, *Thumm* und *Reichle*, Beseitigung der Abwässer und ihres Schlammes (im Handbuch der Hygiene, hrsg. von Trübner, v. Gruber und Ficker, Bd. II, Abteil. 2), Leipzig 1911.

[5]) *Guth* und *Feigl*, Gesundheits-Ingenieur 1912, Bd. 35, S. 21.

[6]) Nach neueren Untersuchungen von *Groenewege* (Mededeelingen uit het Geneeskundig Laboratorium te Weltevreden, Java 1920) kann Ammoniak schon bei Zutritt sehr geringer Mengen von Luftsauerstoff durch die Tätigkeit nitrifizierender Bakterien zu Nitrit oxydiert und aus letzterem unter dem Einfluß denitrifizierender Bakterien gasförmiger Stickstoff frei gemacht werden.

auftretenden Zersetzungserscheinungen, wie bereits angedeutet, starke Geruchsbelästigungen zur Folge haben und ihre Abflüsse bei der Einleitung in stehende oder fließende Gewässer („Vorfluter") auf das Organismenleben der letzteren nachteilig, z. B. durch Sauerstoffentziehung, Schwefelwasserstoff- und Kohlendioxydanreicherung, wirken können.

Zur *Ausscheidung der ungelösten Schmutzstoffe*, die bei den neuzeitlichen Verfahren der Abwasserreinigung zunächst vorgenommen wird, benutzt man deshalb gewöhnlich Absieb- und Absetzanlagen, die bei kürzerem Aufenthalt des Abwassers und ständiger Entfernung der schlammbildenden Stoffe keine Zersetzungserscheinungen aufkommen lassen. Der bei solchen Absetzanlagen („Frischwasserkläranlagen") selbsttätig oder durch einen einfachen Bedienungsvorgang vom Abwasser getrennte Schlamm wird häufig in besonderen Schlammzersetzungsanlagen, die ebenfalls unter „biologischer" Einwirkung arbeiten, in eine leicht wasserabgebende, nicht mehr fäulnis- und gärungsfähige, humusähnliche Masse übergeführt.

Eine weitgehende *Entfernung oder Umwandlung der (kolloid und wirklich) gelösten organischen Stoffe* der Abwässer kann, wie die Erfahrung gezeigt hat, nur bei Gegenwart von Sauerstoff bewirkt werden. Bei den seit über fünfzig Jahren bewährten, besonders zur Reinigung städtischer Abwässer angewendeten Verfahren dieser Art, leitet man das Abwasser auf durchlässigen *natürlichen Boden* (Rieselfelder, intermittierende Bodenfilter) oder über künstlich aus grob- oder feinkörnigen Materialien (z. B. Schlacke, Kohle, Koks, Steinschlag) aufgeschichtete *„biologische Körper"*. Ihre Wirkung beruht auf verschiedenen Erscheinungen. Rein physikalisch ist die zurückhaltende Wirkung solcher natürlichen oder künstlichen Filter auf die — nach vorhergehender Behandlung in Absetzanlagen — noch ungelösten (fein suspendierten) Stoffe des Abwassers. An diesen Stoffen haften Bakterien sowie höher organisierte Pflanzen und Tiere. Sie überziehen allmählich die Oberflächen bzw. die obersten Schichten der Filter mit einem schleimigen organischen Besatz („biologischer Rasen"), der, auch wenn die Lebewesen abgetötet sind oder wenn die Luft nicht zutreten kann, die kolloid gelösten und den größten Teil der wirklich gelösten organischen Stoffe ausscheidet und adsorbiert bzw. chemisch in den Filtern bindet. Die eigentliche Reinigung des Abwassers in derart eingearbeiteten („reifen") Filtern, die im übrigen nur wenige Minuten dauert, ist also vorwiegend ein physikalisch-chemischer Vorgang. Nach dem Durchfluß des Abwassers werden die zurückgehaltenen und die adsorbierten bzw. chemisch gebundenen organischen Stoffe durch die Tätigkeit von luftbedürftigen („aeroben") Kleinwesen, unter Beteiligung vorhandener oder neu gebildeter Fermente (außer den oben erwähnten auch Oxydasen, z. B. Laktase), verarbeitet und mehr oder weniger weitgehend oxydiert. Die Filter nehmen auf diese Weise die Eigenschaften an, die sie zur Reinigung neuer Abwassermengen geeignet machen. Ihre Wiederherstellung („Regenerierung") dauert im Gegensatz zur Abwasserreinigung längere Zeit, mitunter einige Stunden. Ohne jene ist diese auf die Dauer nicht möglich.

Das Ergebnis der natürlichen oder künstlichen „biologischen" Reinigung besteht darin, daß der gesamte organisch gebundene Schwefel in Schwefelsäure bzw. Sulfate übergeht, der Kohlenstoff zum größten Teil in Kohlendioxyd, das gasförmig oder gelöst entweicht, umgewandelt wird, zum kleineren Teil als humusartige Masse in den Filtern zurückbleibt, während der Stickstoff teils als organischer Stickstoff, teils als Ammoniak, teils als gebundene salpetrige und Salpetersäure[7]) in Lösung geht, ein weiterer Teil von ihm wieder Humus bildet, der Rest als elementarer Stickstoff entweicht. Die fäulnis- und gärungsfähigen Abwasserbestandteile werden also beseitigt oder umgewandelt. Bei den *Rieselfeldern*, die zum Unterschied von den intermittierenden Bodenfiltern (Staufiltern) eine landwirtschaftliche Ausnutzung der durch die Oxydation der Abwässer gebildeten Nährsalze (Nitrate u. a.) gestatten, kommt die Zurückhaltung von Bakterienkeimen hinzu; letztere wird bei der Abwasserreinigung heute nicht mehr als wesentlich angesehen. Durch die Anhäufung fester Ausscheidungsprodukte („Humus") kann, namentlich bei *unterbrochenem* Betriebe, in kürzerer oder längerer Zeit eine Verstopfung der Filter eintreten. Dieser Nachteil zeigt sich z. B. bei den eine gewisse Zeit lang mit Abwasser völlig angefüllten und dann entleerten künstlichen „biologischen *Füllkörpern*", die während des Vollstehens das Abwasser reinigen und erst nach erfolgter Entleerung bei Luftzuführung sich wiederherstellen. Er macht eine zeitweilige Spülung bzw. Erneuerung des Filtermaterials erforderlich. Im Gegensatze hierzu stoßen die künstlichen „biologischen *Tropfkörper*", durch die das Abwasser in *ununterbrochenem* Betriebe fein verteilt durchtropft, die erwähnten ungelösten Stoffe in ihren Abflüssen ständig ab; man hat nur dafür zu sorgen, daß diese Stoffe hinterher in Absetzanlagen aufgefangen werden.

Die „biologische" Tätigkeit in den beschriebenen Filtern ist außer von der Luftzufuhr bis zu einem gewissen Grade von der *Temperatur* ab-

[7]) Die *Nitrate*, die Endprodukte der Umsetzung organisch gebundenen Stickstoffs vermitteln bei Gegenwart von Bakterien den Sauerstoffaustausch zwischen hochoxydierten und oxydierbaren organischen Verbindungen. Sie verhindern insbesondere durch Oxydation des organisch gebundenen Schwefels die Entstehung von Fäulnisprodukten (Schwefelwasserstoff usw.). Aus diesem Grunde sind sie wiederholt zur Behandlung von Abwässern und Schlamm vorgeschlagen worden. (*Weldert*, Mitteil. a. d. Kgl. Prüfungsanstalt f. Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung 1910, H. 13, S. 98.)

hängig. Bei höheren Wärmegraden (im Sommer und bei tropischem Klima) ist sie im allgemeinen ausgeprägter als bei niedrigeren (im Winter und bei gemäßigtem Klima). Durch *Gifte* und solche Bestandteile, welche die Kleinwesen schwächen oder gar ganz abtöten (z. B. freie Mineralsäuren, freie Alkalien, Ätzkalk, Chrom-, Kupfer-, Quecksilbersalze, Phenole), kann sie gehemmt oder aufgehoben werden.

Da der Luftsauerstoff, wie mehrfach hervorgehoben, bei allen Zersetzungen organischer Stoffe eine wesentliche Rolle spielt, hat man sowohl in Deutschland als auch in England und Amerika seit jeher versucht, ihn *allein* zur Oxydation der organischen Stoffe der Abwässer zu verwenden. Durch Vorrichtungen und Maßnahmen der verschiedensten Art, z. B. Rührvorrichtungen, Einpressen von Luft, Gradierwerke, Sprühapparate, wollte man Abwasser mit gelöstem, die organischen Verbindungen angreifenden Sauerstoff anreichern[8]). Abgesehen von der rein mechanischen Beseitigung flüchtiger Riechstoffe (Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Amine u. a.) durch Verdunstung, haben diese Bestrebungen zu keinem praktisch verwertbaren Ergebnis geführt. Erst als man durch Erforschung der biologischen Reinigungsverfahren die Bedingungen für den Abbau der organischen Stoffe des Abwassers genauer kennen gelernt hatte, wurden mit Erfolg neue Versuche aufgenommen.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß bereits 1901 der leider zu früh verstorbene deutsche Ingenieur *Mairich*[9]) in Ohrdruf bei Gotha eine Abwasserreinigungsanlage errichtet hat, bei der in das durch Grobrechen und Sandfang vorgereinigte Abwasser Druckluft eingeblasen wurde, um die in dem Abwasser befindlichen Schlammstoffe zu zertrümmern und bei der nachfolgenden Aufstauung des Abwassers in Klärbrunnen (mit zunächst abwärts, dann aufwärts gerichteter Bewegung) als „schwebendes Filter" zu benutzen. Das geklärte Abwasser wurde auf einer mit zahlreichen feinen Löchern versehenen, aus imprägniertem Holz hergestellten Bühne nochmals belüftet und in Tropfenform über Grobsand- bzw. Kiesfilter geleitet. Hierbei wirkten „*Algen*" mit. Das abfließende Abwasser war fast klar, farblos und roch nur sehr wenig.

Im Jahre 1913 berichteten der amerikanische Chemiker *H. W. Clark*[10]) und seine Mitarbeiter *G. O. Adams* und *St. de M. Gage* über planmäßige Belüftungsversuche, die sie in den vorhergehenden Jahren in der Abwasserversuchsstation des Staates Massachusetts in Lawrence ausgeführt hatten. Hierbei sollten ursprünglich die Bedingungen festgestellt werden, unter denen das Fischleben in verunreinigten Gewässern erhalten bzw. erleichtert werden könnte. Sie hatten gefunden, daß bei Anwesenheit von *Grünalgen* einerseits eine merkliche Klärung, andererseits eine Anreicherung der unreinen Wässer mit Sauerstoff erzielt wurde, wenn sie Luft mehrere Stunden lang durch das Wasser preßten. Auch als Hilfsmittel bei der Abwasserreinigung erwies sich die *Belüftung*, indem ein mit Preßluft bei Gegenwart von Grünalgen und ohne diese behandeltes Abwasser bei nachheriger Filtration durch Sand oder über einen Tropfkörper aus Steinschlag bessere Abflüsse ergab als ein nicht belüftetes Abwasser. Es wurde von den gleichen Verfassern[11]) beobachtet, daß *fortgesetzte* Belüftung und Berührung mit Schieferplatten in einem Behälter im Abwasser Veränderungen hervorrief, die im wesentlichen auf „Algenwachstum" beruhten, und daß eine Reinigung des Abwassers um so schneller erfolgte, je größer die Ansatzflächen für die Algen waren. Der entstehende Schlamm war geruchlos und leicht zu entwässern.

Etwa gleichzeitig mit diesen Versuchen stellten die Engländer *G. J. Fowler* und *E. M. Mumford*[12]) an der Universität Manchester Versuche an, um die künstlichen biologischen Körper von vorher flockig ausgeschiedenen (kolloiden) Stoffen zu entlasten. Sie leiteten zu diesem Zwecke in einer Absetzanlage vorgeklärtes Abwasser in einen zweiten Behälter, in dem es mit einer Bakterienkultur, die sich in der Natur in Tümpeln und Kohlengruben mit eisenhaltigem Wasser vorfanden, geimpft und mit einer geringen Menge Eisensalz (Ferrisulfat) versetzt wurde. Wurde in dieses Gemisch Luft eingeblasen, so trat eine Ausflockung ein. In einem dritten Behälter wurde das Abwasser wieder geklärt und dann entweder auf biologischen Körpern nachbehandelt oder unmittelbar dem Vorfluter übergeben.

Diese Versuchsanordnung, die *Fowler* nach einer Besichtigung der Lawrencer Station im Herbst 1912 auf Grund seiner eigenen Versuche ausgebaut haben soll, bildet die Grundlage eines neuen Abwasserreinigungsverfahrens, nämlich der *Ausscheidung bzw. Umwandlung gelöster organischer Stoffe durch Belüftung des Abwassers bei Gegenwart von Kleinwesen* ohne Verwendung von Filtern und ähnlichen Körpern.

Die Engländer *Ed. Ardern* und *W. T. Lockett*[13]) veröffentlichten in den Jahren 1914 ff. die Ergebnisse ihrer unter Leitung von *Fowler* durchgeführten Versuche. Hiernach hat der bei völliger Oxydation von Abwasser unter den oben geschilderten Umständen erhaltene Rückstand an festen Stoffen, den sie mit dem Ausdruck „*akti-*

[8]) *J. König*, Die Verunreinigung der Gewässer, 2. Aufl., Berlin 1899, Bd. *1*, S. 235 ff.

[9]) *Salomon*, Die städtische Abwässerbeseitigung in Deutschland, Jena 1907, Bd. 2, S. 116.

[10]) Engineering Record 1913, Bd. *67*, S. 715 (Auszug aus dem 45. Jahresbericht des Gesundheitsamtes des Staates Massachusetts).

[11]) Engineering Record 1914, Bd. *69*, S. 158; 1915, Bd. *71*, S. 367 (Auszug aus dem 46. Jahresbericht des Gesundheitsamtes des Staates Massachusetts).

[12]) Surveyor 1913, Bd. *44*, S. 287.

[13]) Journ. of the Soc. Chem. Ind. 1914, Bd. *33*, S. 523, 1122; 1915, Bd. *34*, S. 937; 1917, Bd. *36*, S. 264, 822; 1920, Bd. *39*, S. 60.

*vierter" Schlamm* („activated sludge") belegten, die Eigenschaft, beim Zusammenbringen mit frischem Abwasser (4—6fache Menge) dessen Oxydation durch einfache Belüftung ganz bedeutend zu beschleunigen. Die Geschwindigkeit und der Grad dieser Wirkung hängen ab von der innigen Mischung des Abwassers mit dem „aktivierten" Schlamm, ferner von der Reaktion des Abwassers, die schwach alkalisch gehalten werden muß, und der Temperatur. Unter 10° C wird die Reinigungswirkung erheblich vermindert, bis zu 20—24° bleibt sie ohne wesentliche Unterschiede, darüber wird sie zunächst etwas gehemmt, nimmt aber dann wieder zu. Die Dauer der Belüftung richtet sich nach der Konzentration des Abwassers und dem zu erzielenden Reinheitsgrade. Unter den angegebenen Bedingungen konnte ein Abwasser von mittlerer Konzentration, wie das von Manchester, in 6 bis 9 Stunden gut gereinigt werden. Der „aktivierte" Schlamm unterscheidet sich wesentlich nach Art und Zusammensetzung von frischem und von gefaultem Abwasserschlamm; er ist geruchlos und besitzt einen verhältnismäßig hohen Stickstoffgehalt (4—6 % in getrocknetem Zustande).

Während die wissenschaftlichen Grundlagen des Verfahrens hauptsächlich in England von *Fowler* und seinen Schülern bearbeitet wurden, ging man in den Vereinigten Staaten von Amerika und in Canada bald an seine technische Ausgestaltung und baute Versuchsanlagen in größerem und größtem Umfange, z. B. außer in Lawrence in Baltimore, Milwaukee (Wisconsin), Chicago, Montana (Illinois), Cleveland (Ohio), Brooklyn, Houston (Texas), Regina und Toronto (Canada). In Milwaukee ist nach mehrjährigen Vorarbeiten unter Leitung des Oberingenieurs *Hatton*[14]) die bis jetzt größte Anlage für 600 000 bis 700 000 Einwohner (täglich 300 000—500 000 Kubikmeter Abwasser) mit einem Kostenaufwand von über 5 Millionen Dollar im Bau begriffen. In England werden Versuchsanlagen außer in und bei Manchester in Salford, Sheffield u. a. erprobt.

Nach den Versuchsergebnissen und praktischen Erfahrungen in England und Amerika[15]) beruht das Verfahren der Abwasserreinigung mit „aktiviertem" Schlamm auf den gleichen Erscheinungen wie die oben beschriebenen biologischen Verfahren. Die Reinigung des Abwassers wird durch Adsorptions- und chemische Kräfte bewirkt, deren Erschöpfung durch Mikroorganismen *bei Gegenwart von Luftsauerstoff* verhindert wird. Der organische Besatz („biologischer Rasen"), der bei den natürlichen oder künstlichen Filtern auf den Sandkörnern oder sonstigen Materialbrocken sich festsetzt, schwebt als „Flocken" im fließenden Abwasser und wird von Luftbläschen getragen. Er bildet eine lockere, schwammartige, braun gefärbte Masse, die infolge ihrer sehr großen Oberfläche Gase, Kolloide, Bakterien u. a. festhält und wie ein „schwebendes Filter" aus dem Abwasser entfernt. Die Luft ist notwendig, einmal, um die aeroben Bedingungen für die Kleinwesen zu erhalten, ferner für die Bewegung des Abwassers, d. h. damit die „Flocken" in der Schwebe bleiben und sich nicht absetzen. Für den ersten Zweck werden nur etwa 5—10 % des in der zugeführten Luft enthaltenen Sauerstoffs verbraucht. Die für die Bewegung des Abwassers erforderliche Luftmenge ist dagegen sehr groß. Man muß in dem *Belüftungsbecken*, dessen Sohle quer zur Durchflußrichtung des Abwassers in rechteckig trichterartige Vertiefungen mit eingelegten *Luftverteilungsplatten* („Filtros"-Platten) aufgelöst ist, so viel Bewegung in das Abwasser bringen, daß die schwereren ungelösten Stoffe sich nicht absetzen und die Platten verstopfen können. Selbst wenn man das Abwasser vorher durch feine Rechen oder Siebe von einem Teil der ungelösten Stoffe befreit hat, soll die Menge der aus Kreiselgebläsen u. a. durch Rohre zugeführten Preßluft (etwa 0,5 at) nicht unter 0,3 cbm/Minute auf 1 qm Verteilungsplatte betragen.

Der *Bedarf an Luft* hängt hauptsächlich ab von der *Beschaffenheit des Rohabwassers*, von dem gewünschten Reinheitsgrad des abfließenden Abwassers, von der Belüftungszeit, der Temperatur und der Menge des zur „Aktivierung" wieder zu verwendenden Schlammes. Ein stark verschmutztes Abwasser braucht natürlich mehr Luft als ein verdünntes, weniger infolge der größeren Menge der gelösten organischen Stoffe, die oxydiert werden müssen, als wegen der größeren Menge der Kolloide, die eine größere Oberfläche der „Flocken", mithin entweder eine Vermehrung der letzteren oder eine Verlängerung der Zeit erfordern, während der die Ausflockung wirksam ist. Neben der Konzentration des Abwassers haben auch Trübungen, die Art der in ihm enthaltenen organischen Stoffe, die leicht oder schwer zersetzlich durch Sauerstoff sein können, ferner die Anwesenheit von Säuren, Alkalien, Eisensalzen u. a. eine erhebliche Bedeutung.

Der *Reinheitsgrad* des Abwassers, d. h. der Grad der Oxydation, steigt im allgemeinen mit der Luftzufuhr. Durch das Verfahren sollen bei normal zusammengesetzten Abwässern nicht nur die ungelösten Stoffe (bis etwa 95 %) entfernt, die kolloiden adsorbiert oder ausgefällt, sondern auch Bakterien (bis etwa 90 %) zurückgehalten und die gelösten organischen Stoffe

[14]) Engineering News-Record 1920, Bd. *84*, S. 990 ff. (Die Abwassermengen nordamerikanischer Städte sind infolge des hohen Wasserverbrauchs, auf die Einwohnerzahl berechnet, etwa 3- bis 5mal so groß wie diejenigen deutscher Städte, infolgedessen die Schmutzstoffe entsprechend mehr verdünnt.)

[15]) *H. P. Eddy*, Journ. of the Western Soc. of Engineers 1921, Bd. *26*, Nr. 7; übersetzt und eingeführt durch *K. Imhoff*, Gesundheits-Ingenieur 1922, Bd. *45*, S. 13 ff. („Licht- und Schattenseiten der Abwasserreinigung mit aktiviertem Schlamm").

bis zur Nitrifikation der Stickstoffverbindungen und damit zur Erzielung völliger Fäulnisunfähigkeit[16]) umgewandelt werden. Man kann die Luftzufuhr auch beendigen, bevor die Oxydation der gelösten organischen Stoffe und die Nitrifikation eintritt, muß sie aber immerhin so weit treiben, daß ein Schlamm von den oben erwähnten Eigenschaften gewonnen wird.

Bei verlängerter *Belüftungszeit* kann die Luftmenge innerhalb gewisser Grenzen herabgesetzt werden. In einer Zeit von 8 Stunden ist bei einem normal beschaffenen Abwasser nur etwa halb so viel Luft erforderlich als in einer Zeit von 4 Stunden. Kolloidreiche Abwässer brauchen im allgemeinen längere Belüftungszeiten (8 bis 12 und sogar 20 Stunden).

Der ungünstige Einfluß niedriger *Temperatur*, der sich z. B. im Winter bei starken Kältegraden oder vorübergehend bei Zufluß von Schneeschmelzwasser bemerkbar macht, kann bis zu einem gewissen Grade durch Zuführung größerer Luftmengen ausgeglichen werden.

Im allgemeinen kann man bei einer Anlage, bei der die Belüftung in ständig durchflossenen Becken von 3—4,5 m Tiefe *6 Stunden* lang vorgenommen wird und bei der das Verhältnis der von den Luftverteilungsplatten eingenommenen Sohlenfläche zur ganzen Sohlenfläche 1 : 6 beträgt, auf 1 cbm durchfließendes Abwasser von dünner häuslicher Beschaffenheit[17]) 7,5 cbm (1,25 cbm/Std.), auf 1 cbm städtisches Abwasser je nach der Konzentration und der Art gewerblicher Beimengungen 11 bis 30 cbm (1,83 bis 5 cbm/Std.), auf 1 cbm Schlachthofabwasser 30 cbm (5 cbm/Std.), auf 1 cbm durch Absetzen vorgereinigtes Gerbereiabwasser 45 cbm (7,5 cbm-Stunden) *Gesamtluftverbrauch* rechnen.

Für Großbetrieb hat sich ähnlich wie bei den biologischen Körpern das Verfahren der *ununterbrochenen* Belüftung des Abwassers und des Schlammes besser bewährt, als das ursprünglich in England geübte Verfahren der abwechselnden Füllung und Entleerung („fill and draw") des Belüftungsbeckens. Das Gemisch von Schlamm und Abwasser gelangt aus dem Belüftungsbecken in *Absetzbecken* mit geneigter Sohle, wo der Schlamm während ein- bis zweistündiger Durchflußzeit des Abwassers sich absetzt und verdichtet. Das Abwasser soll die Absetzbecken in klarem, geruchlosem und fäulnisfreiem Zustande verlassen. Der abgesetzte Schlamm, der je nach der Belüftung einen Wassergehalt von 97 bis 99 % besitzt, muß, um seine „Aktivität" nicht zu verlieren und nicht in Fäulnis überzugehen, so rasch als möglich entfernt werden. Ein Teil von ihm (etwa 20—50 %) wird entweder unmittelbar in den Abwasserzulauf zurückgepumpt oder vorher in einem besonderen Behälter nochmals belüftet oder endlich nach der Wiederbelüftung in einem weiteren Becken vor dem Zusatz zum Abwasser verdichtet. In der richtigen *Zuteilung des rückbeförderten („aktivierten") Schlammes* zu den Belüftungsbecken liegt, abgesehen von der Belüftung selbst, der Schwerpunkt der Betriebsüberwachung[18]).

Der *überschüssige* Schlamm muß beseitigt werden. Seine Menge ist bedeutend größer als bei allen anderen Reinigungsverfahren. Für amerikanische Verhältnisse berechnet, beträgt sie etwa das Doppelte der bei chemischer Fällung, das Vierfache der bei Absetzanlagen (mit Frischschlammgewinnung), das Zwanzigfache der bei Faulräumen, bei „Frischwasserkläranlagen" und bei biologischen Tropfkörpern (in den Nachklärbecken) entstehenden Schlammenge. Um den hohen *Wassergehalt* zu vermindern, hat man versucht, den Schlamm auf dränierten, d. h. mit Sickerröhren versehenen Sandbeeten zu behandeln oder ihn in großen Teichen oder auch in Absetzbecken aufzuspeichern. Die Ergebnisse waren jedoch nicht befriedigend. Eingeführt, jedoch nicht voll bewährt hat sich bei den amerikanischen Anlagen die Entwässerung des „aktivierten" Schlammes in *Filterpressen*. Letzterer wird vorher mit Schwefelsäure leicht angesäuert, um seine von Natur schleimige Beschaffenheit zu verändern. Man erhält so Preßkuchen mit 70—80 % Wassergehalt und vermehrten Ammoniakgehalt, die zusammen mit Rückständen der Feinrechen oder -siebe in Drehtrommeln durch Hitze weiter getrocknet (bis etwa 10 % Wassergehalt), in Säcke gefüllt und als Düngemittel verkauft werden. Der Verkauf des gesäuerten, gepreßten und getrockneten Schlammes soll teilweise die Kosten des Betriebes, vielleicht ganz die der Entwässerung und Trocknung des Schlammes decken. Als besondere Vorteile des Verfahrens werden außer dem Dungwert des Schlammes der geringe Bedarf an Platz und Gefälle und die gute und gleichmäßige Reinigung des Abwassers gerühmt.

In englischen wie in amerikanischen Fachkreisen hat das Verfahren der Abwasserreinigung durch „aktivierten" Schlamm jedenfalls begeisterte Anhänger gefunden. Man legt besonderen Wert auf den Stickstoffgehalt dieses Schlammes. *Fowler* selbst nimmt an, daß auf biologischem Wege[19]) der Stickstoff der Luft an die Schlammsubstanz gebunden werden kann und verspricht sich von dem Verfahren eine Umwälzung der Stickstoffwirtschaft der ganzen Welt. Ferner rechnet er mit einer stärkeren Ausnutzung der mit Stickstoff angereicherten geklärten Abflüsse der Anlagen zu Rieselzwecken.

Für deutsche Verhältnisse ist das Verfahren infolge der durch die zahlreichen Einrichtungen

[16]) Vgl. Fußnote 7.

[17]) Vgl. Fußnote 14.

[18]) *Hatton*, l. c.

[19]) Nach Versuchen von *Richards* und *Sawyer* (Journ. of the Soc. Chem. Ind. 1922, Bd. *41*, S. 62) beruht der Stickstoffgehalt des „aktivierten" Schlamms auf der ungeheuren Zahl der darin enthaltenen Protozoen (1 Million auf 1 ccm feuchten Schlamm), die Ammoniak aufnehmen.

bedingten hohen Anlage- und Betriebskosten zurzeit nicht verwendbar[20]). Die Stickstoffgewinnung aus der Luft haben wir billiger auf chemischem Wege[21]). Solange das Verfahren auch ohne diese Schlammverwertung nicht vereinfacht und verbilligt werden kann, dürfte es bei uns kaum als *wirtschaftlich* brauchbarer Ersatz für die anderen biologischen Verfahren in Frage kommen. Eine Vereinfachung und Verbilligung ist jedoch, wie die Amerikaner selbst zugeben[22]), wünschenswert bei der Belüftung des Abwassers zum Zwecke der Bewegung und bei der Entwässerung des Schlammes. Erstere könnte durch mechanische Bewegung des Abwassers ergänzt werden, wobei nur soviel Luft zugesetzt wird, als erforderlich ist, um die aeroben Bedingungen zu erhalten. Eine Verbesserung der Behandlung des überschüssigen Schlammes wäre hauptsächlich durch Verminderung seiner Menge und durch Veränderung seiner Beschaffenheit anzustreben, wobei unseres Erachtens die Frage der Verwertung in den Hintergrund zu treten hätte. Von Fortschritten in dieser Beziehung wird voraussichtlich die weitere Entwicklung des Verfahrens abhängen. Ein Abwasserreinigungsverfahren, bei dem namentlich die Schlammfrage nicht befriedigend gelöst werden kann, hat sich nach den bisher in Deutschland gemachten Erfahrungen bei der Anwendung im großen gewöhnlich nicht bewährt.

---

## Studien über die Bewegungsphysiologie niederer Organismen.

*Von P. Metzner, Berlin-Dahlem.*

(Schluß.)

### *c) Die Geschwindigkeit der Cilienbewegung*[1]).

Wir besitzen verhältnismäßig wenig sichere Angaben über die Schnelligkeit der Cilienbewegung. So gibt z. B. *Prowazek* (1900) für Euglena 67,2, für Monas 78, Polytoma 29, Oikomonas 14 Schläge in der *Minute* an. Daß diese Zahlen zu niedrig sind, läßt sich bereits aus der Tatsache entnehmen, daß im Dunkelfeld in der Regel nicht die Geißel selbst, sondern nur der von ihr durchschwungene Raum zu sehen ist aus demselben Grund, aus dem eine rasch geschwungene glühende Kohle einen leuchtenden Kreis vortäuscht. Damit ein homogener „Lichtraum" entsteht, müssen etwa 10 Umdrehungen oder Schläge in der Sekunde erfolgen; einen Anhaltspunkt gewinnt man auch aus der Beobachtung *Buders* (1915), daß auf Momentaufnahmen ($^1/_{25}$ sec) von Chromatium Okeni im Dunkelfeld der Lichtraum bereits voll ausgebildet erscheint, so daß in dieser Zeit mindestens ein Umgang vollendet worden sein muß. Genauere Messungen sind von *Metzner* (1920) auf stroboskopischem Wege vorgenommen worden, freilich mit mancherlei Schwierigkeiten verknüpft und nur an günstigen Objekten durchzuführen. Die Messungen erfolgen im Dunkelfeld; das von der Bogenlampe kommende Licht wird durch eine mit meßbarer Geschwindigkeit rotierende Schlitzscheibe rhythmisch abgeblendet. Arbeitet die Cilie physikalisch exakt, so muß bei *Gleichheit* von Schlag- und Lichtfrequenz *scheinbar Stillstand* eintreten. Die mannigfachen, zu Täuschungen Anlaß gebenden Nebenerscheinungen erfordern besondere Berücksichtigung.

Im folgenden sind eine Anzahl von Ergebnissen (zum Teil auch bisher unveröffentlichte) zusammengestellt:

| | | |
|---|---|---|
| ***1. Rotierende Geißeln.*** | | |
| *a) Geißelschöpfe.* | | |
| Chromatium Okeni | 40—60 | Umdr./sec. |
| Spirillum volutans | 37—40 | „ |
| „ tenue | 75—90 | „ |
| *b) Einzelgeißeln.* | | |
| Uroglena volvox | 36—40 | „ |
| Anthophysa vegetans | 36—40 | „ |
| ***2. Rudernde Cilien.*** | | |
| *a) Ruderwimpern* | | |
| von Hexamitus crassus | 2—3 | Schläge/sec. |
| *b) Körperwimpern* | | |
| von Opalina ranarum | 13 | „ |
| Paramaecium caudatum | 10—11 | „ |
| Spirostomum ambiguum | 10—11 | „ |
| Colpidium colpoda | 10 | „ |
| *c) Flimmerepithel* vom Frosch[2]) | 13—17 | „ |
| *d) Peristomwimpern* | | |
| von Paramaecium caudatum | 22—28 | „ |
| Vorticella convallaria | 28 | „ |
| Stylonychia mytilus | 28 | „ |
| Stentor coeruleus | 28 | „ |
| Epistylis plicatilis | 24-27 | „ |
| *e) Spermatozoiden* | | |
| Adiantum cuneatum | 20 | „ |

Beim Vergleich der Zahlen fällt zunächst auf, daß die rotierenden Geißeln bedeutend rascher arbeiten als die rudernden Cilien (offenbar besonders günstige mechanische Bedingungen!). Auch innerhalb der Ruderwimpern zeigen sich bemerkenswerte Unterschiede je nach der Organisationshöhe. Am langsamsten und unregelmäßigsten bewegen sich die vorderen Cilien von Hexamitus (ähnlich auch die Geißeln der Mastigämöben und ähnlicher Organismen). Dann aber lassen sich deutlich zwei Gruppen unterscheiden: die Körperwimpern holotricher Infusorien und das Flimmerepithel höherer Tiere einerseits, die Peristomcilien anderseits. Damit läuft parallel ein Unterschied im Hervortreten des Meta-

---

[20]) *Bach*, Wasser und Abwasser 1922. Bd. *17*, S. 126.

[21]) Diese Zeitschrift 1922, Bd. *10*, S. 1041 ff.

[22]) Vgl. Fußnote 15.

[1]) III. *Die normale Bewegung:*
a) Die „rotierenden" Cilien.
b) Die rudernden Cilien.

[2]) Die erste Bestimmung der Frequenz am Flimmerepithel wurde — auch auf einem stroboskopischen Wege — von *Martius* 1884 vorgenommen; die Methodik war jedoch noch unvollkommen und gab keine befriedigenden Resultate, führte aber zu ähnlichen Werten.

chronismus: während die Peristomwimpern streng metachron und in genau gleichem Rhythmus arbeiten und deshalb leicht optisch „stillzustellen" sind, gelingt das bei den Körperwimpern nicht in dem Maße — es ist, als ob hier die einzelnen Cilien noch mehr von ihrer Autonomie bewahrt hätten. Ein physikalisches Bild kann die Verhältnisse vielleicht am ehesten klarstellen: bei den Peristomwimpern handelt es sich um schwingende Systeme mit enger Koppelung (also *erzwungener* Gleichheit), bei den Körperwimpern dagegen um lose Koppelung (die Raum für Eigenschwingungen läßt) [3]). Damit mag wohl auch die verschiedene Geschwindigkeit zusammenhängen.

### *IV. Die Reizbewegungen.*

Unter den Reizbewegungen niederer Organismen („Taxien") sind wir besonders gut über die Reaktionen auf *chemische* Einflüsse hin unterrichtet. Den Ausgangspunkt für die systematische Erforschung der Chemotaxis bildete die Beobachtung, daß die Spermatozoiden der Farne mit Sicherheit die enge Mündung des Archegonhalses erreichen. *Pfeffer* konnte 1884 in seiner klassischen Arbeit über „lokomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize" zeigen, daß die von den Archegonien aus in das Wasser diffundierende Apfelsäure den Spermatozoiden den Weg weist und daß diese ebenso reichlich in eine dünne — mit Apfelsäure passender Konzentration gefüllte — Glaskapillare hineinschwimmen. Ebenso werden andere Organismen durch spezifische (oft auch als Nährstoff verwertbare) Reizstoffe angelockt. Eine mit verdünntem Fleischextrakt beschickte Kapillare erfüllt sich z. B. in einem Tropfen bakterienhaltiger Flüssigkeit äußerst rasch mit einem dichten Gewimmel; bei höheren Konzentrationen bildet sich vor der Kapillare eine scharf begrenzte Ansammlung regellos durcheinander schwimmender Organismen. Wie kommen diese Reaktionen zustande? Ursprünglich glaubte man, daß alle Organismen für die Unterschiede der Reizung gegenüberliegender Flanken empfindlich seien und ihren Weg *direkt nach dem Diffusionszentrum* zu nähmen. Heute wissen wir, daß in vielen Fällen die Ansammlung ganz anders zustande kommt: durch einfache Bewegungsumkehr („Schreckbewegung") beim Übergang zwischen Gebieten von verschiedenem Reizwert. Wir stellen eine solche Reaktionsweise als *Phobotaxis* der Richtungsbewegung auf die Reizquelle zu (*Topotaxis*) gegenüber.

#### *a) Die phobotaktischen Reaktionen.*

Am längsten kennt man solche Reaktionen bei den lichtempfindlichen Purpurbakterien. Wird in einem mikroskopischen Präparat ein scharf begrenzter Lichtfleck erzeugt, so können die Bakterien (etwa Chromatien oder Rhodospirillen) ungehindert in das Lichtfeld eintreten. Sobald aber ein Individuum aus diesem Gebiet in den dunklen Teil des Präparates zu schwimmen versucht, wird der Geißelmechanismus umgeschaltet und der Organismus wieder in den Bereich des Lichtfleckes zurückgeführt, der so wie eine *Falle* wirkt. Tatsächlich füllt sich diese „Lichtfalle" binnen kurzer Zeit. Wichtig ist, daß der Lichtfleck nicht „aufgesucht" wird; nur jene Individuen bleiben gefangen, die *zufällig* auf ihren Kreuzfahrten durch das Präparat in diesen Bezirk hineingeraten; als Reiz wirkt der *Übergang* von hell zu dunkel, also eine *zeitliche Differenz* verschiedener Reizwerte. Wie zu erwarten ist, löst dementsprechend plötzliche Verdunkelung des ganzen Gesichtsfeldes bei *allen* vorher belichteten Individuen Bewegungsumkehr aus. — *Rothert* sowie *Jennings* und *Crosby* haben zu gleicher Zeit darauf hingewiesen, daß auch die chemotaktischen Ansammlungen vieler Organismen auf ähnliche Weise zustandekommen. Hier bildet die Grenze der „Falle" eine Zone gleicher Konzentration bzw. gleichen Diffusionsgefälles im Präparat. Auch hier gelangen die Organismen zufällig in den Bereich des diffundierenden Reizstoffes, und nur das Verlassen einer positiv chemotaktischen Zone wird durch die Reaktion verhindert. Solche Reaktionen können sowohl beim Übergang von mittleren zu stärkeren oder schwächeren Konzentrationen auftreten; in solchem Fall wird sich eine ringförmige Ansammlung um das Diffusionszentrum ausbilden. Die Grenzen solcher Ansammlungen sind meist recht scharf, weil die Empfindlichkeit der einzelnen Individuen im selben Präparat nur geringe Abweichungen zeigt. Sie zeigt sich übrigens von der Schwimmgeschwindigkeit und der Steilheit des Diffusionsgefälles abhängig. Besonders typisch müssen derartige Reaktionen bei solchen Organismen sein, die von vornherein nicht zu aktiver Änderung der Schwimmrichtung befähigt sind wie z. B. *Chromatien* und *Spirillen* (s. *Metzner* 1920 c). Aber auch *Paramaecien*, deren Aktionssystem bedeutend vielseitiger ist, reagieren phobotaktisch. *Jennings* stellte aber fest, daß hier die Reaktion nicht nur in der Bewegungsumkehr besteht, sondern in einem ganz bestimmten Bewegungskomplex, der als *„motor-reflex"* bezeichnet wird. Nach einer Reizung prallt das Paramaecium ein Stück zurück (infolge Umkehr des Cilienschlages), beschreibt dann einen Teil eines Kegelmantels und schwimmt in etwas veränderter Richtung wieder vorwärts. Beim erneuten Auftreffen auf eine Reizquelle erfolgt die gleiche Reaktion. So werden verschiedene Richtungen „ausprobiert", bis endlich durch „Versuch und Irrtum" diejenige Schwimmrichtung gefunden ist, die von der Reizquelle wegführt. Bei positiv chemotaktisch wirkenden Substanzen wirkt der Übergang aus dem Chemotaktikum in

[3]) Um Mißverständnisse zu vermeiden, sei hier nochmals erwähnt, daß bei der Flimmerbewegung nicht die Bewegung selbst, sondern nur die Rhythmik übertragen wird. Die Cilien — auch im Peristom — arbeiten im übrigen autonom.

das reine Kulturmedium als Reiz. Allgemein zeigt sich, daß der motor-reflex beim Übergang von günstigen zu weniger günstigen Bedingungen ausgelöst wird. Neuere Versuche von *Alverdes* haben übrigens gezeigt, daß unter Umständen auch noch andere Reaktionen — Abwenden, „Bogenfahren" — auftreten können, in der Regel ist jedoch der motor-reflex zu beobachten. Beobachtung von Teilstücken zeigte, daß die Perzeption chemischer Reize bei Paramaecium offenbar nur im Vorderende erfolgen kann (*Alverdes*).

*b) Die topotaktischen Reaktionen.*

Bereits *Rothert* wußte, daß topotaktisch reagierende Organismen auch Schreckbewegungen zeigen können. Es scheint nun von vornherein wenig wahrscheinlich, daß für ein und dieselbe Reizqualität zwei grundsätzlich verschiedene Reaktionen auftreten, und *Jennings* hat deshalb versucht, die topotaktische Einstellung auf eine Reihe sich folgender phobotaktischer Reaktionen zurückzuführen. Als Beispiel dient ihm vor allem die Einstellung von *Euglena* in die Richtung der Lichtstrahlen. Euglena besitzt einen fischförmigen Körper, der durch die vorn inserierte lange Geißel unter Rotation in fast gestreckter Schraubenbahn getrieben wird. Der Körper ist dabei meist ein wenig gegen die Bahnachse geneigt. In der Nähe der Insertionsstelle der Geißel befindet sich ein Augenfleck. *Euglena* zeigt je nach dem physiologischen Zustand phobotaktische Reaktionen bei Erhellung oder Verdunkelung. Die *Reaktion* ist auch hier keine einfache Bewegungsumkehr, sondern ein ähnlicher *motor-reflex* wie bei Paramaecium: Rückwärtsschwimmen (meist nur Anhalten), Trichterdrehung nach der dorsalen Seite und dann Vorwärtsschwimmen in etwas abweichender Richtung. Die Einstellung soll nun so zustandekommen, daß die Organismen bei der Trichterdrehung nacheinander in verschieden günstige Reizlagen kommen (durch „verschiedene Beschattung"); in der jeweils günstigsten ist die Fortbewegung relativ am stärksten so lange, bis bei der Rotation keine Differenzen auftreten. Dann ist die Einstellung beendet. Die Einstellung erfolgt also durch „Probieren" verschiedener Reizlagen. Eine solche Reaktionsweise ist durchaus denkbar (besonders auch bei chemischen Reizen), für Euglena trifft sie indes nicht zu. *Buder* (1919) konnte nämlich zeigen, daß die Einstellung viel rascher und sicherer erfolgt als das bei einer solchen Probierreaktion möglich wäre. Es wird vielmehr *in ganz bestimmter Reizlage* (wahrscheinlich dann, wenn der Augenfleck die Geißelwurzel beschattet) ein zur Symmetrieebene des Körpers *bestimmt gerichteter* Ruderschlag der sonst rotierenden Geißel ausgelöst, der den Körper in die Richtung der Lichtstrahlen dirigiert. Auch hier sehen wir als *primäre* Reaktion einen *motor-reflex* (Ruderschlag); erst die physiologische *Asymmetrie* des Vorderendes ermöglicht es, daß er bei bestimmter *Orientierung des Körpers* zum Reiz ausgeführt wird und so die Einstellung bewirkt. — *Jennings* glaubte seine Beobachtungen verallgemeinern zu können und meinte, daß wohl alle topotaktischen Reaktionen auf ähnliche Weise zustandekommen. Insbesondere vermutete er einen gleichen Verlauf bei der Chemotaxis der Spermatozoiden, und *Hoyt* glaubte 1910 diese Vermutung bestätigen zu können.

Es hat sich aber nun doch herausgestellt, daß wir hier einen Fall von *echter Topotaxis* vor uns haben (*Metzner* 1923). Allerdings sind die Verhältnisse nicht leicht zu übersehen. Betrachten wir zunächst die Voraussetzungen für eine topotaktische Orientierung: Es müssen aktiv Wendungen möglich sein (d. h. die Cilien müssen einen erheblichen Teil des Vortriebs bestreiten). Bei eingeißeligen Objekten müßte die Schlagrichtung von der Reizrichtung abhängig sein — bei polyciliaten muß eine Differenz zwischen der Wirkung reiznaher und reizferner Cilien entstehen. Das setzt eine genügende Unterschiedsempfindlichkeit verschiedener Flanken voraus.

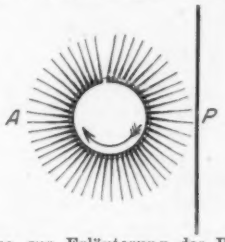


Fig. 7. Schema zur Erläuterung der Reaktionen bei Farnspermatozoiden.

Dann aber ist noch mancherlei zu bedenken: die Spermatozoiden sind ja in dauernder *Rotation*, und schon *Jost* hat geltend gemacht, daß die Tätigkeit der Cilien das Diffusionsgefälle wesentlich verändern müßte. Weiter ist anzunehmen, daß die Reaktion nicht im Augenblick der Reizung erfolgt, sondern erst nach einer — wenn auch kurzen — *Reaktionszeit*, und schließlich müssen wir uns fragen, ob nicht die Koppelung der Cilien (die den Metachronismus bewirkt) störend eingreift.

Die Untersuchung ergab nun, daß nicht der Körper, sondern die *Cilien* selbst die *Perzeptionsorgane* sind, die an das *unveränderte* Diffusionsgefälle grenzen (Störungen treten nur innerhalb des von den Cilien umschlossenen Raumes auf, so daß z. B. der Blepharoplast oder eine andere sensible Struktur des Körpers freilich keine Differenzen wahrnehmen könnte). Die *Reaktion* besteht entweder in Beschleunigung oder Hemmung der Cilientätigkeit, niemals in Umkehr der Schlagrichtung. Die *Reaktionszeit* beträgt etwa 0,1—0,125 sec; während dieser Zeit ist etwa eine halbe Umdrehung in Richtung des Pfeiles ausgeführt worden. Fig. 7 stellt ein Spermatozoid schematisch von vorn gesehen dar. Wirkt in *P*

ein Reiz, der die Cilientätigkeit hemmt (z. B. Berührung mit einem festen Körper oder 1 % Gelatine), so wird nach 0,1 sec bei *A* die Reaktion beginnen; die jetzt bei *P* befindlichen Cilien schlagen aber noch normal, d. h. das Spermatozoid muß sich nach links von dem Hindernis entfernen[4]). Inzwischen ist auch der Reiz im *Innern* die Wimperreihe entlang geleitet worden, und zwar wahrscheinlich ebenso rasch wie das Fortschreiten des Metachronismus. Dann aber ist er im dargestellten Augenblick bei *P* angekommen, so daß hier äußerer und innerer Reiz *gleichzeitig* zu wirken beginnen. Das gilt nun für jede einzelne Wimper des ganzen Cilienbandes, und wir sehen, daß der Metachronismus nicht nur nicht stört, sondern die Reaktion wirksam unterstützen kann. Führt der Reiz in *P* zu einer *Steigerung* der Cilientätigkeit, so erfolgt eine *Zuwendung* zur Reizquelle hin, solange gegenüberliegende Cilien eine Differenz empfinden können. Es erübrigt noch die Bemerkung, daß der Winkel, der zwischen Reiz und Reaktion zurückgelegt wird, nicht immer genau 180 ° beträgt;

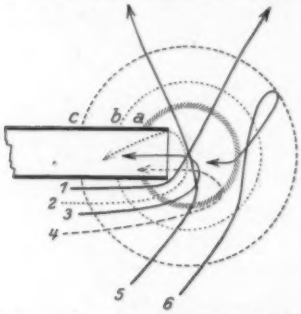


Fig. 8. Schema der chemotaktischen Reaktionen von Farnspermatozoiden.

aber auch dann behalten die geschilderten Überlegungen ihre Gültigkeit. Im Fall der Cilienbeschleunigung wird das Diffusionszentrum dann nicht auf einer ebenen, sondern einer Raumkurve erreicht. Was geschieht nun, wenn der Reiz symmetrisch auf alle Cilien wirkt (bei senkrechtem Auftreffen auf eine Reizzone)? Nun, gar nichts Auffälliges. Die Individuen schwimmen dann mit erhöhter oder verminderter Geschwindigkeit geradewegs weiter. — Zur Illustrierung des Verhaltens bei chemotaktischen Versuchen mag die beigegebene Darstellung einiger typischer Schwimmbahnen (Fig. 8) dienen. Die Kreise *a, b, c* stellen Zonen gleicher Konzentration, gleichen Gefälles des aus der Kapillare diffundierenden Reizstoffes dar. Bei *a* ist das Gefälle am stärksten. Wir sehen, daß solche Spermatozoiden, die nur schwach abgelenkt wurden und etwa durch das Diffusionszentrum schwimmen, unter Umständen dicht am Kapillarmund vorbei entweichen können. Am schönsten zeigt sich das Einschwärmen etwa auf Bahn 3. Hier ließ sich auch feststellen, daß die Geschwindigkeit (bei 0,05 % Apfelsäure in der Kapillare) auf 330 μ/sec gesteigert wurde. Von besonderem Interesse ist noch Bahn 6. Wir sehen, daß bei *schiefem* Auftreffen auf eine bestimmte Zone in absteigender Richtung (Hemmung des Cilienschlages) Reaktionen auslöst, die gewöhnlichen *Schreckreaktionen ähnlich* sind. Freilich nur ähnlich, denn sie unterscheiden sich von jenen dadurch, daß sie abhängig sind vom Winkel des Auftreffens, und daß auch hier nur die gereizten Wimpern reagieren (die anderen infolge der Reizleitung zwar auch, aber an der gleichen Stelle!). Aus dem gleichen Grunde schwimmen Spermatozoiden bei senkrechtem Auftreffen z. B. in konzentrierte Salzlösungen ohne Reaktion hinein und gehen dort zugrunde, während bei schrägem Auftreffen Abkehr erfolgt. Diese Reaktionen sollen als „pseudophobotaktisch" bezeichnet werden.

Entsprechend wird für die topotaktische Einstellung von Euglena und ähnliche Fälle die Bezeichnung „pseudotopotaktisch" gegenüber den echten oder eutopotaktischen Reaktionen anzuwenden sein.

Wir bekommen dann etwa folgende Übersicht über die Reizbewegungen der Mikroorganismen:

### *A. Phobotaktische Reaktionen.*

*Reizanlaß*: zeitlicher Wechsel der Reizstärke
Reaktion morphologisch festgelegt (motor-reflex).

1. *Euphobotaktische R.* sind von der Reizrichtung oder Reizlage unabhängig, Organismen physiologisch radiär (Beisp. Spirillum).
2. *Pseudotopotaktische R.* sind an morphologische oder physiologische Asymmetrie gebunden und erfolgen dann jeweils in bestimmter Reizlage (Beisp. Euglena).

### *B. Topotaktische Reaktionen.*

*Reizanlaß:* Örtliche Unterschiede der Reizstärke, Reaktion von den gereizten Flanken ausgehend.

1. *Eutopotaktische R.* sind von der Reizlage unabhängig; Organismen physiologisch radiär (Beisp. Farnspermatozoiden).
2. *Pseudophobotaktische R.* müssen bei *allen* wirklich topotaktischen Organismen auftreten und können in bestimmter Reizlage ausbleiben (Beisp. Farnspermatozoiden).

*Literatur:*

*Alverdes, Fr.*, a) Pflügers Arch. *195* (1922), 245; b) Arb. a. d. Geb. d. exp. Biol. H. 3 (1922), 130.
*Buder, J.*, a) Jahrb. f. wiss. Bot. *56* (1915), 529; b) Jahrb. f. wiss. Bot. *58* (1919), 105
*Erhard, H.*, Arch. f. Zellf. *4* (1910), 309.
*Fuhrmann, F.*, Centr. f. Bakt. Abt. II, Orig. *25* (1910), 129.
*Hoyt, W. D.*, Bot. Gaz. *49* (1910), 340.
*Jennings, H. S.*, Die niederen Organismen (übers. v. Mangold), Leipzig 1914.

[4]) Es erscheint mir nicht ausgeschlossen, daß die von *Alverdes* an Paramaecium beobachteten Reaktionen beim schiefen Auftreffen auf Diffusionszonen (Abwenden) auf ähnliche Weise zustande kommen. Darüber soll an anderer Stelle genauer berichtet werden.

*Jennings and Crosby*, Amer. Journ. of Physiol. *6* (1901), 31.
*Metzner, P.*, a) Biol. Centr. *40* (1920), 49; b) Zs. f. wiss. Mikr. *36* (1920), 113; c) Jahrb. f. wiss. Bot. *59* (1920), 325; d) Beitr. z. allg. Bot. *2* (1923), Heft 5 (im Druck).
*Pfeffer, W.*, Tübinger Unt. *1* (1884), 364.
*Prowazek, S. v.*, Arb. a. d. zool. Inst. d. Univ. Wien *12* (1900), 261.
*Rees, Ch.*, Am. naturalist *55* (1921), 464.
*Reichert, K.*, Centr. f. Bakt. I, Orig. *51* (1909), 14.
*Rothert, W.*, Flora *88* (1901), 371.
*Ulehla, Vl.*, Biol. Centr. *31* (1911), 645.
*Verworn, M.*, Pflügers Arch. *48* (1890).

---

# Über die Bedeutung der Physik des Unmessbarkleinen für die physikalische Forschung.

*Von Erwin Freundlich, Berlin-Potsdam.*

1.

Selbst der begeistertste Anhänger der klassischen Himmelsmechanik wird nicht leugnen, daß sie zu neuen Erkenntnissen schon seit etwa einem Jahrhundert fast gar nicht mehr geführt hat. Nachdem es den Astronomen zu Ende des 18. und Anfang des 19. Jahrhunderts gelungen war, die Bewegungsvorgänge im Planetensystem aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz erschöpfend abzuleiten und diesem Gesetze damit allgemeine Anerkennung zu verschaffen, ist die Himmelsmechanik nur noch nach zwei Richtungen hin ausgebaut worden. Sie hat die mathematischen Grundlagen ihrer Theorie eingehend analysiert; sie hat sodann die Gültigkeit ihrer Gesetze im Weltall außerhalb des Planetensystems geprüft. Sie hat dabei überall, wo sie Gelegenheit fand, das Newtonsche Gesetz zu prüfen, z. B. in Doppelsternsystemen, es vollauf bestätigt gefunden. Aber neue Erkenntnisse, speziell tiefere Einblicke in Kausalzusammenhänge, kamen dabei nicht zutage. Ernstlich zu glauben, daß mit dem System der Newtonschen Mechanik die Gesamtheit der in der Mannigfaltigkeit der mechanischen Erscheinungen enthaltenen Kausalbeziehungen wirklich erschöpft sei, dazu lag kein Recht vor. Im Gegenteil drängten Erscheinungen wie die (schon seit *Newton* bekannte) Gleichheit der trägen und der schweren Masse der Materie nach einer kausalen Vertiefung. Es hatte nur den Anschein, als sei mit dem Abschluß der klassischen Mechanik zu Anfang des vorigen Jahrhunderts auch das System der aus ihren Begriffsbildungen folgenden Kausalzusammenhänge zum Abschluß gelangt.

Währenddessen entwickelte sich die Physik in ganz anderer Richtung. Ihr Forschungsgebiet war das Wesen der Materie selbst und der von ihr ausgestrahlten Energien. Und da es offenbar wurde, daß die Materie nicht die Eigenschaften eines Kontinuums hat, daß sich vielmehr in gewissen sehr kleinen Raumverhältnissen ganz neuartige, und zwar erst die entscheidenden Vorgänge abspielen, auf deren Kenntnis es zum Verständnis der beobachteten Erscheinungen ankommt, so drang die Physik gezwungenermaßen immer tiefer in Richtung auf das Unendlichkleine hin vor, ohne irgendwie zu einem Abschluß der von ihr aufgedeckten Kausalzusammenhänge zu gelangen.

Dieser Unterschied in beiden Forschungsrichtungen ist von grundsätzlicher Bedeutung und stellt den inneren Grund dafür dar, daß die Physik und die Astronomie nicht zu einer einheitlichen Auffassung der Naturerscheinungen gelangt sind. Der reichere Ertrag an Kausalbeziehungen, den die ins Unmeßbarkleine fortschreitende Physik erntete, mußte eines Tages das anscheinend abgeschlossene System an Kausalbeziehungen der klassischen Mechanik antasten. Und wenn daraus eine Spannung zwischen beiden Disziplinen entsprungen ist, so kann diese Spannung nur in der Weise behoben werden, daß man die innere Notwendigkeit dieser Entwicklung und die innere Berechtigung der „Übergriffe" der Physik aufweist. Und dies ist, wie mir scheint, in vollauf befriedigender Weise möglich.

2.

Der prinzipielle Unterschied zwischen der Forschungsweise der Mechanik und der der Physik, dessen tieferen Sinn wir aufklären müssen, ist folgender: Die Fortschritte unserer Erkenntnisse der mechanischen Natur sind fast ausschließlich gewonnen durch eine Ausdehnung unserer Forschung ins Unmeßbargroße, durch den Ausbau der Himmelsmechanik, dagegen diejenigen der physikalischen Natur der Materie fast ausschließlich durch eine Ausdehnung unserer Forschung ins Unmeßbarkleine, durch den Ausbau der Atomphysik. Welche prinzipielle Bedeutung diesem Unterschiede zukommt, hat schon *Riemann* in seiner Habilitationsschrift „Über die Hypothesen, welche der Geometrie zugrunde liegen", deutlich ausgesprochen; er sagt im letzten Abschnitt dieser Schrift:

„Die Fragen über das Unmeßbargroße sind für die Naturerklärung müßige Fragen. Anders verhält es sich aber mit den Fragen über das Unmeßbarkleine. Auf der Genauigkeit, mit welcher wir die Erscheinungen ins Unendlichkleine verfolgen, beruht wesentlich die Erkenntnis ihres Kausalzusammenhangs. Die Fortschritte der letzten Jahrhunderte in der Erkenntnis der mechanischen Natur sind fast allein bedingt durch die Genauigkeit der Konstruktion, welche durch die Erfindung der Analysis des Unendlichen und die von *Archimed*, *Galilei* und *Newton* aufgefundenen einfachen Grundbegriffe, deren sich die heutige Physik bedient, möglich geworden ist. In *den* Naturwissenschaften aber, wo die einfachen Grundbegriffe zu solchen Konstruktionen bis jetzt fehlen, verfolgt man, um den Kausalzusammenhang zu erkennen, die Erscheinungen ins räumlich Kleine, soweit es das Mikroskop nur gestattet. Die Fragen über die Maßverhältnisse des

Raumes im Unmeßbarkleinen gehören also nicht zu den müßigen . . . . ." und später: „Nun scheinen aber die empirischen Begriffe, in welchen die räumlichen Maßbestimmungen gegründet sind, der Begriff des festen Körpers und des Lichtstrahls, im Unendlichkleinen ihre Gültigkeit zu verlieren; es ist also sehr wohl denkbar, daß die Maßverhältnisse des Raumes im Unendlichkleinen den Voraussetzungen der Geometrie nicht gemäß sind . . . Die Frage über die Gültigkeit der Geometrie im Unendlichkleinen hängt zusammen mit der Frage nach dem inneren Grunde der Maßverhältnisse des Raumes."

Diese vor siebzig Jahren niedergeschriebenen Sätze *Riemanns* enthalten alles, was zur Aufklärung der oben betonten Polarität zwischen der Forschungsmethode der Mechanik und der der Physik nötig ist. Insbesondere ist ausgesprochen, warum die Forschungsmethode der Newtonschen Mechanik nur einen bedingten Ertrag an Kausalbeziehungen erbracht hat. Es bleibt nämlich bei den Maßverhältnissen, „wo die möglichen Fälle eine stetige Mannigfaltigkeit bilden, jede Bestimmung aus der Erfahrung immer ungenau — es mag die Wahrscheinlichkeit, daß sie richtig ist, noch so groß sein. Dieser Umstand wird wichtig bei der Ausdehnung dieser empirischen Bestimmungen über die Grenzen der Beobachtung ins Unmeßbargroße und Unmeßbarkleine; denn die *letzteren* können offenbar jenseits der Grenze der Beobachtung immer ungenauer werden, die ersteren aber nicht.

Dieses immer „ungenauer werden können" der empirischen Bestimmung der Maßverhältnisse bei der Ausdehnung der Forschung ins Unmeßbarkleine ist die Quelle, aus deren Erforschung die Physik immer neue Kausalbeziehungen schöpfen wird. Hier bietet sich uns die Möglichkeit, das Wesen der „bindenden Kräfte" von Raum-Zeit-Materie zu erforschen. Die Ausdehnung der Forschung ins Unmeßbargroße liefert uns dazu keine Handhaben. Diese Ausführungen im engen Anschluß an *Riemann* werden verständlicher werden, wenn wir auf den Kernpunkt seiner Mannigfaltigkeitslehre in ihrer Beziehung zu den Naturvorgängen etwas ausführlicher eingehen.

3.

Die entscheidende Erkenntnis, zu welcher *Riemanns* Schrift „Über die Hypothesen, welche der Geometrie zugrunde liegen" geführt hat, ist, daß sich der Raum dem allgemeineren Begriff einer Mannigfaltigkeit unterordnen läßt und daß eine stetige Mannigfaltigkeit beliebig vieler Maßverhältnisse fähig ist. Die Frage nach dem inneren Grunde der Maßverhältnisse des mit Materie erfüllten Raumes kann nur durch das Studium der Naturvorgänge entschieden werden, welches unter allen möglichen Fällen die in der materiellen Welt herrschenden zu bestimmen erlaubt. Auf dem Wege zur Lösung dieses sich vor uns erhebenden Problems hat die spezielle Relativitätstheorie die eine Vorarbeit geleistet, Raum und Zeit zu einer stetigen Mannigfaltigkeit der Dimensionszahl 4 zusammenzuschweißen. Die allgemeine Relativitätstheorie hat dann eine vollständige Lösung dieses von *Riemann* aufgeworfenen Problems gegeben und hat die Gravitation als den inneren Grund der in der materiellen Welt herrschenden Maßverhältnisse aufgedeckt.

Den Weg zur Bestimmung der Maßverhältnisse einer stetigen Mannigfaltigkeit eröffnet die Erforschung seiner Zusammenhangsverhältnisse im Unendlichkleinen durch die Bestimmung des analytischen Ausdrucks für das Linienelement und die Berechnung des Wertes der die Krümmungsverhältnisse der Mannigfaltigkeit in jedem Punkte charakterisierenden Größe. Wie im einzelnen z. B. die Gravitation diese für die Metrik der Mannigfaltigkeit Raum-Zeit-Materie wesentlichen Größen bestimmt, dafür liefert die allgemeine Relativitätstheorie die erforderlichen Ansätze und Formeln. Und da wir nur eine empirische Gewißheit für deren Gültigkeit haben, so kann uns jeder Fortschritt in der Erfahrung neue Tatsachen kennen lehren, die eine Umgestaltung dieser Theorie erforderlich machen. Die Erfahrung hat, wie *Riemanns* Mannigfaltigkeitslehre zeigt, hierbei zum Unendlichkleinen hin fortzuschreiten, denn nur auf diesem Wege kommen neue Kausalbeziehungen zutage, weil in dieser Forschungsrichtung die Bestimmung der Maßverhältnisse immer ungenauer werden kann, in umgekehrter Richtung nicht.

Man könnte gegen den Wert dieser Überlegungen einwenden, daß dem Begriff des „Unendlichklein" in der realen Welt doch nur eine bedingte Bedeutung zukomme, daß es schließlich unserem Ermessen unterliege, ob man die Dimensionen des Sonnensystems im Hinblick auf die gesamte Ausdehnung der Welt schon als unendlichklein auffassen wolle oder nicht. Doch dem ist nicht so. Denn wenn die Erfüllung der Welt mit Materie die bindenden Kräfte liefert, aus denen die Maßverhältnisse der Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit fließen, so kann nur die Erforschung der Zusammenhangsverhältnisse der Materie selbst uns über den Grad der Genauigkeit der Bestimmung dieser Maßverhältnisse Aufklärung geben. Hätte die Materie die Zusammenhangsverhältnisse eines Kontinuums, so würde das Eindringen ins Unendlichkleine keine neuen Kausalzusammenhänge zutage fördern. Seitdem wir aber die Atome der Materie mit ihren Kernen und Elektronen als reale physikalische Dinge mit der gleichen empirischen Gewißheit kennen, wie noch vor einigen Jahrzehnten die Planeten und Monde unseres Sonnensystems, sind erst die zur Erforschung dieser Zusammenhänge entscheidenden Vorgänge ans Licht gebracht, und es sind die Ausmaße des Unendlichkleinen durch die Dimensionen der Atomkerne und Elektronen begrenzt. Da überdies in den Größenverhältnissen der Atome die Begriffe des starren Körpers und des

Lichtstrahls, auf welchen sich bis heute noch die Lehre von den Maßverhältnissen der Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit aufbaut, vermutlich ihren Sinn verlieren, so gibt uns wohl nur die Atomphysik die Schlüssel in die Hand, die das Tor zu neuen Einsichten in den inneren Grund der Maßverhältnisse öffnen.

Man darf deshalb nicht von einer Mode sprechen, die die Naturforscher heute zur Atomphysik hintreibe, während noch vor wenigen Jahrzehnten die Beschäftigung z. B. mit der Thermodynamik den größten Teil ihrer Interessen in Anspruch nahm. Die Begriffsbildungen der Thermodynamik haben nicht den engen Zusammenhang mit der Mannigfaltigkeit, in der sich die Vorgänge der materiellen Welt abspielen, wie die der Atomphysik. Dieses Umstandes ist man sich bewußt geworden, wenn auch vielleicht nur durch die große Fruchtbarkeit der neueren Forschungsmethode. Zu den Kausalzusammenhängen, aus denen die Beziehung zwischen Metrik und Naturvorgängen aufgedeckt werden kann, hätte die Thermodynamik wahrscheinlich nie hinführen können.

4.

Wenn man die Entwicklung der Physik von dieser Seite aus beleuchtet, so ist es auf den ersten Blick nicht recht ersichtlich, aus welcher Quelle die allgemeine Relativitätstheorie die Erkenntnisse zur Lösung des Riemannschen Problems geschöpft hat. Denn es kommen in ihr kaum Einflüsse der Atomphysik, also Einblicke in die Struktur der Materie zum Ausdruck.

Jedoch, die wesentlichste neue Erfahrungstatsache der speziellen Relativitätstheorie, die Erkenntnis der Trägheit der Energie, ist nur auf dem Wege über die Elektronentheorie zutage gefördert worden und hat noch heute in Erscheinungen der Bahnbewegung der Elektronen im Atomverband ihre stärkste Stütze. Unzweifelhaft ist dieser Fortschritt der Erkenntnis zum Unendlichkleinen hin, die Entdeckung des Elektrons und der Besonderheiten seiner Massenerscheinung, eine wesentliche Voraussetzung für die Begriffsbildungen der speziellen Relativitätstheorie gewesen.

Prinzipiell mag wohl die Möglichkeit der Erkenntnis der Trägheit der Energie nicht an die Entdeckung des Elektrons gebunden sein. Sie ist es in Wahrheit nur deshalb, weil nur diese außerordentlich kleinen Energieteilchen Geschwindigkeiten erreichen, bei denen ihre Masse wahrnehmbar wird. Aber daß gerade erst diese Größenverhältnisse des Elektrons die Ungenauigkeit der bisherigen Bestimmung der Masseneigenschaft offenbart haben, deutet auf Zusammenhangsverhältnisse der Mannigfaltigkeit hin, deren innerer Grund noch nicht erkannt ist.

Über die Entdeckung des Elektrons und seiner Trägheit hinaus hat die allgemeine Relativitätstheorie keine aus der Atomphysik gewonnene Erfahrung in ihre Grundlagen aufgenommen. Diese geht aber sehr wesentlich in ihr Grundprinzip, das sog. Äquivalenzprinzip, ein, und zwar dadurch, daß die allgemeine Relativitätstheorie die Gültigkeit der speziellen Relativitätstheorie beim Übergang zu unendlich kleinen Raumteilchen fordert. Diese Bedingung, die in jedem Punkt eines Gravitationsfeldes erfüllt sein soll, schließt im allgemeinen die Wahl euklidischer Maßverhältnisse aus. Infolgedessen sind die Voraussetzungen der speziellen Relativitätstheorie sehr wesentlich in denjenigen der allgemeinen Relativitätstheorie enthalten. Durch die Forderung, daß dieser Grenzübergang in jedem Punkte des Feldes zulässig ist, wird die aus der Erfahrung gewonnene Gleichheit der trägen und der schweren Masse für Materie und Energie in die Prinzipien auch der speziellen Relativitätstheorie eingeordnet; und diese spezielle Relativitätstheorie hat heute nur noch wegen dieses Grenzübergangs der Formeln der allgemeinen Relativitätstheorie in derjenigen der speziellen beim Übergang zu unendlich kleinen Raum-Zeit-Teilchen ihre reale physikalische Bedeutung.

Hierin beruht ein wesentlicher Fortschritt der allgemeinen Relativitätstheorie gegenüber der klassischen Mechanik. Sie macht völlig erschöpfende Aussagen über die im Unendlichkleinen vorausgesetzten Maßverhältnisse der Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit. Sie fordert, daß die Mannigfaltigkeit im Unendlichkleinen homogen sei und die Konstruktionen des Pythagoräischen Lehrsatzes zulasse; sie läßt aber die Möglichkeit beliebiger, nichteuklidischer Maßverhältnisse der Mannigfaltigkeit zu.

Wie weit diese ihre Voraussetzungen erfüllt sind, kann nur die fortschreitende, und zwar die zum Unendlichkleinen hin fortschreitende Erfahrung lehren. Hier eröffnen sich die wichtigsten Probleme der Atomphysik; in Sonderheit erhebt sich die Frage, ob sich alle Erscheinungen, also außer den Gravitationserscheinungen auch alle elektrodynamischen, als innerer Grund der Maßverhältnisse der Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit auffassen lassen. Daß rein formal eine Zuordnung der Elektrizität zur Metrik möglich ist, lehren die Untersuchungen *Weyls*; daß sie notwendig hergestellt werden muß, geht aus der bisher noch nicht erklärten Gleichheit der Ausbreitungsgeschwindigkeit für Licht- und Gravitationswellen hervor, die aus den Ansätzen der allgemeinen Relativitätstheorie folgt. Hier offenbart sich eine noch unaufgelöste Kausalbeziehung, die ebenso der tieferen Deutung bedarf, wie vordem die Gleichheit der trägen und der schweren Masse der Materie in der Newtonschen Mechanik, da sie sonst in gleicher Weise wie ein unbefriedigender Zufall wirken würde. Die Zusammenfassung von Gravitation und Elektrizität zu einem einheitlichen Erscheinungskomplex verlangt einen tieferen Einblick in das Wesen dieser Kräfte, und dieser wird wohl nur durch genauere Erforschung

der im Atomverband sich abspielenden Vorgänge zu gewinnen sein. Denn daß die schon bestehende Menge an Erfahrungstatsachen zur Lösung dieser Aufgabe ausreicht, erscheint fraglich. Aber bei einem Fortschritt der Forschung zum Unendlichkleinen hin ist zu erwarten, daß neue Kausalbeziehungen zutage treten, welche uns die Lösung dieses Problems ermöglichen. Denn es hängt die Frage über die Gültigkeit bestimmter Maßverhältnisse im Unendlichkleinen zusammen mit der Frage nach dem inneren Grund der Maßverhältnisse von Raum-Zeit-Materie.

Wie mir scheint, müssen diese Überlegungen, zu denen *Riemann* den Grund gelegt hat, ausgleichend auf das Verhältnis zwischen Astronomie und Physik wirken. Sie lehren, daß gewissermaßen eine zwingende Notwendigkeit für die sich vor uns abspielende Entwicklung der physikalischen Forschung vorliegt. Darüber hinaus haben diese Überlegungen aber auch eine Bedeutung für alle Forschungsgebiete der Naturwissenschaften, deren Forschungsgebiet sich auf einen stetigen Komplex von Erscheinungen bezieht. Stellt die Gesamtheit der betrachteten Erscheinungen eine stetige Mannigfaltigkeit im Sinne *Riemanns* dar, so ist die Erforschung ihrer Zusammenhangsverhältnisse das wesentlichste Problem. Insbesondere die in der letzten Zeit von Psychologen in den Vordergrund gerückte Gestaltstheorie ist von dem hier aufgeworfenen Standpunkt einer Würdigung zugänglich, die ich jedoch einem späteren Artikel vorbehalten möchte.

---

## Besprechungen.

**Meisenheimer, Johannes, Geschlecht und Geschlechter im Tierreiche.** I. Die natürlichen Beziehungen. Jena, Gustav Fischer, 1921. XIV, 896 S. und 737 Abbildungen.

Ein Werk, dessen Literaturnachweise allein 70 Seiten, dessen Sachregister 40 Seiten dreispaltig umfaßt, muß den größten Respekt vor der Ordnungskunst und dem Sammelfleiß seines Verfassers erregen. Der Inhalt aber übertrifft alle Erwartungen. Der Nichtzoologe kommt bei jeder Seite dieses Buches nicht aus dem Staunen heraus über die Vielseitigkeit der Natur, mit der sie die sexuelle Ausrüstung der Tiere erzeugt hat, um die Sicherheit der Fortpflanzung und die Reinheit der Abstammung zu gewährleisten. Denn so teleologisch muß ja in einem Gebiet gesprochen werden, dessen Ziel keine Hypothese, sondern völlig klar ist. Zweck und Grund der Bildung mancher Eigentümlichkeit des Organbaus wird auch vom Verf. als klar hingestellt, wo wir in unserer der physiologischen Deutung anatomischer Formen gegenüber vorsichtigen Denkart zurückzuhalten gewöhnt sind. Aber die unendliche Menge völlig sicher zu deutender Formen verführt zur Deutung auch anderer nach der Richtung nahescheinender Zweckdienlichkeit. Was *Meisenheimer* an Material beibringt, ist geradezu überwältigend, um so mehr, als er immer wieder hervorhebt, daß er nur eine Auswahl des Vorhandenen, nur die klarsten Fälle, nur einzelne Beispiele aus den erwähnten Tierklassen gibt. Die einzelligen Organismen vereinigen sich ganz miteinander zu einer Fortpflanzungsart, die anders ist als die einfache Teilung in zwei Teile. Diese Vereinigung der Körper ist eine Art geschlechtlicher Fortpflanzung, bestehend in gegenseitiger Befruchtung und aus den vereinigten Zellen hervorgehender gemischter Nachkommenschaft. Noch niederer, wenn dieser Ausdruck erlaubt ist bei einem Vorgang, der uns nur einfach erscheint, weil er der zweifellose Vorläufer komplizierterer Zustände sein muß, ist die Teilung und Wiedervereinigung des Kerns eines einzigen Infusors im eigenen Körper, sodann die Kern- und Zellteilung und die Wiedervereinigung eines einzigen einzelligen Wesens in eigener Kapsel, wobei der als Befruchtung anzusprechende Vorgang nur eine innere Umlagerung sein kann. Darauf folgt die Vereinigung zweier gleichwertiger, dann die Vereinigung bereits verschieden gestalteter Einzelwesen, des Gametozyten und des Gameten. Über diese Vereinigung oder gegenseitige Befruchtung einzelliger Wesen hinaus geht dann die Vereinigung von bestimmten, ebenfalls als Gametozyten und Gameten anzusehenden Zellen mehrzelliger Gebilde. Diese werden dadurch zu Gametozytenträgern. Diese Gametozyten werden weiterhin in Geschlechtsdrüsen oder Gonaden zusammengefaßt, und diese Geschlechtsdrüsen sind deshalb als Gametozytenträger zweiter Ordnung bezeichnet. Ovarien und Spermarien bringen als Gameten sich vereinigende Eizellen und Samenzellen hervor. „Jedes tierische Individuum ist in seiner Gesamtheit nichts anderes als ein Gametozytenträger, sein Körper überschreitet in der Stufenfolge allgemeinster geschlechtlicher Differenzierung nicht die Konstitution eines einfachen Algenfadens.“ Das ist der wichtigste und schlagendste Satz des Buches, von dem jeder, der es liest, sich selbst bis ins tiefste betroffen fühlen muß und der das Interesse für das nun Besprochene in so hoher Weise weckt, wie es wohl kein anderes Wort vermocht hätte. Die weitere Ausgestaltung jedes Wesens zur Geschlechtsperson bildet den Inhalt des großen Werkes von *Meisenheimer*.

Was nun aber *Meisenheimer* in den folgenden 22 Kapiteln auf mehr als 700 Seiten mit ebensoviel Abbildungen schildert, übertrifft alle Erwartungen. Es ist unmöglich, im Rahmen dieser Besprechung auch nur zu versuchen, eine Darstellung von der Vielseitigkeit der Formen und der Funktionen zu geben, die *Meisenheimer* an unserem Auge vorbeiführt. Wenn ich einen Punkt anführen darf, so erfüllt die feine Verschiedenheit, bei der mit einem Häkchen oder Stachelchen bei Käfern und bei Fliegen die Vermischung nächstverwandter Arten verhindert wird, mit dem größten Staunen. Die komplizierteren Verhältnisse bei höheren Tieren klarzulegen, beginnt *Meisenheimer* mit einem Vergleich der Geschlechtszellenträger bei den Pflanzen und bei stockweise lebenden Tieren, den Hydromedusen. Darauf geht er auf die allgemein im Tierreich wichtige Grundfrage des Zwittertums und der Getrenntgeschlechtlichkeit ein. Nach oben und nach unten, durch alle Tierkreise hindurch, führt er uns in seinen Besprechungen und bildlichen Darlegungen, führt uns die primitiven Begattungsformen in ihrer bereits außerordentlichen Mannigfaltigkeit vor unter Besprechung der unechten Begattungsorgane, die nicht zur direkten Einführung des Spermas in den Körper des Weibchens, sondern nur zur äußeren Vereinigung der Geschlechter führen, und geht dann auf die echten Begattungsorgane über. Der Mensch wird nebenher auch immer mit in Betracht gezogen, aber alles darauf Bezügliche geht in einer solchen Fülle weit erstaunlicherer Kompliziertheiten unter, daß es

fast primitiv erscheint, was in dieser Beziehung existiert. Der Beschreibung der Organe und ihrer direkten Vereinigung folgen die Korrelationen zwischen männlichen Begattungsorganen und weiblichen Empfangsorganen, die Haft-, Greif- und Klammerapparate im Dienste geschlechtlicher Betätigung, die Reizorgane mechanischer Art und die Wollustorgane, und die Formen der geschlechtlichen Annäherung. In diesem Abschnitt wird zunächst beschrieben, wie die allgemeinen Verhältnisse des Kontrektationstriebes gestaltet sind, die Mittel zu sexueller Annäherung, die der Tastsinn, Schmeck- und Riechstoffe, das Gehör, das Auge vermitteln. Nach Besprechung der sexuell verschiedenen und durch ihre Unterschiede bei männlichem und weiblichem Geschlecht als sexuell wichtig hervortretenden Waffen, geht *Meisenheimer* auf Eiablage und Brutpflege über. Gewährung von Schutz, von Nahrung an die Nachkommenschaft umfassen zwei große Kapitel mit vielen Unterabteilungen, in denen vom einfachsten Bewachen der Eier bis zur Aufopferung des ganzen Körpers der Mutter alle Zwischenstufen geschildert werden, die sich nicht in systematisch aufsteigender Reihe, sondern in allen Tierklassen vom niedersten bis zum höchsten Grade antreffen lassen. Zum Schluß folgen drei wichtige Kapitel über die Stufen sexueller Organisationshöhe, die Übertragung spezifischer Geschlechtsmerkmale von Geschlecht zu Geschlecht und die Herkunft und Ausbildung peripherer Geschlechtsmerkmale. Das ganze Werk atmet die Verehrung vor den Wechselgestaltungen, die die Natur in ihren wichtigsten Zweck, die Fortpflanzung, hineingelegt hat, und die würdige Art der Darstellung erfüllt den Leser mit der Hochachtung vor dem natürlichen Vorgehen, die der Autor ihm durch seine umfassende und klare Beschreibung nahebringt. Es ist unmöglich, auf all die großen Gedanken, die *Meisenheimer* zwischen seine objektiven Schilderungen hineinflicht, auch nur im entferntesten einzugehen. Aus diesem Buch lernen wir mehr als aus irgendeiner anderen Darstellung des Tierlebens die Wunder der tierischen Entstehung und der Reinerhaltung der entstandenen Arten erkennen. Was wird erst der zweite Band bringen?

*F. Pinkus, Berlin.*

**Hort, Wilhelm, Technische Schwingungslehre.** Zweite, völlig umgearbeitete Auflage. Berlin, Julius Springer, 1922. VIII, 828 S. und 423 Textabb. 16 × 21 cm. Grundzahl 20.

Seit dem Erscheinen der ersten Auflage im Jahre 1910 hat die „Technische Schwingungslehre" von *W. Hort* sich allgemeine Anerkennung erworben, was unter anderem auch darin zum Ausdruck kommt, daß die erste Auflage seit einigen Jahren vergriffen ist. Seit etwa zwei Jahrzehnten haben die in der Technik auftretenden Schwingungserscheinungen eine immer stärker hervortretende Bedeutung gewonnen, die das Buch von *Hort* für die Ingenieure besonders wichtig und wertvoll gemacht hat. Hinzu kommt noch der für das Buch charakteristische Umstand, daß *W. Hort* es verstanden hat, auch den mathematisch weniger geschulten Ingenieur in mathematische Forschungsmethoden einzuführen, die dem Techniker sonst meist unzugänglich erschienen und auf denen doch, wie heute immer mehr erkannt wird, zum großen Teile die Weiterentwicklung der technischen Wissenschaft beruht. Gerade die Untersuchung der in der Schwingungslehre auftretenden schwierigen technischen Probleme erfordert ein Vertrautsein mit den mathematischen Behandlungsweisen der Mechanik, wie es meines Erachtens kaum besser vermittelt werden kann, als es in dem vorliegenden Buche geschieht. Der Grund hierfür liegt zweifellos mit darin, daß der Verfasser selbst in der Praxis stehender Ingenieur ist und daher die Denkweise und die Bedürfnisse der Ingenieure aus eigner Erfahrung kennt.

Die vorliegende zweite Auflage ist gegenüber der ersten auf nahezu den vierfachen Umfang angewachsen. Die Anordnung des Stoffes ist im wesentlichen dieselbe geblieben, doch haben einerseits die theoretischen Grundlagen eine weit ausführlichere Behandlung erfahren und andrerseits ist die Zahl der Beispiele, insbesondere aus den inzwischen wichtig gewordenen Anwendungsgebieten (vor allem der Elektrotechnik), beträchtlich vermehrt worden.

Die ersten Abschnitte behandeln die einfachsten ungedämpften, die gedämpften und die erzwungenen Schwingungen. Hier führt der Verfasser den Leser an Hand von einfachen praktischen Beispielen in die Lehre der linearen Differentialgleichungen ein und macht ihn dadurch zugleich mit den mathematischen Hilfsmitteln vertraut, die die Grundlagen für die späteren schwierigeren Untersuchungen bilden. Ein besonderer Abschnitt, der für technische Physiker sehr wichtig sein dürfte, ist den Instrumenten zur Aufzeichnung von Schwingungen gewidmet, die hier auch rechnerisch eingehend untersucht werden, und zwar werden der Indikator, die Seismographen, der Pallograph (für das Aufzeichnen der Schwingungen und Erzitterungen der Schiffskörper), der Oszillograph, das Vibrationsgalvanometer, der Frequenzmesser von *Frahm* und der Kinematograph (zur Aufnahme der Zeigerschwingungen von Instrumenten) besprochen.

Während bisher nur einfache mathematische Hilfsmittel verwandt wurden, werden in einem besonderen Abschnitte (rationelle Mechanik) weitergehende mathematische Methoden entwickelt, deren Notwendigkeit für den Ingenieur der Verfasser ausführlich begründet. Hier werden die Bewegungsgleichungen von *Lagrange* erster und zweiter Art und die sämtlichen damit zusammenhängenden für die Dynamik wichtigen Begriffe der Freiheitsgrade, der Zwangskräfte usw. besprochen. Wenn man auch heute noch verschiedener Ansicht darüber sein kann, ob die Lagrangeschen Methoden, die *Hort* in den folgenden Abschnitten zur Lösung fast aller behandelten Aufgaben benutzt, für den Ingenieur als „rationelle Mechanik" anzusprechen sind, so ist meines Erachtens der Standpunkt des Verfassers schon dadurch gerechtfertigt, daß der Ingenieur, der in die Handhabung der Lagrangeschen Methoden eingeführt ist, damit auf jeden Fall sehr wertvolle Hilfsmittel für die selbständige technisch-wissenschaftliche Weiterarbeit erhält. Im Anschluß an die Darstellung der „rationellen Mechanik" folgt ein Abschnitt über analytische und graphische Methoden, in dem auch die neueren Verfahren von *Zipperer*, von *Pichelmeyer* und von *Schrutka*, von *Meurer* und von *Runge-Emde* sowie die Analysatoren nach *Henrici* und nach *Mader* besprochen werden.

In den folgenden Abschnitten werden die dargelegten Methoden auf die verschiedenen technischen Gebiete angewendet. Ein Abschnitt, der die Schwingungen mit einem Freiheitsgrad in der Maschinentechnik behandelt, enthält Untersuchungen über Fundamentschwingungen, Biegungs- und Torsionsschwingungen rasch rotierender Wellen, über die Dynamik des Kurbelgetriebes und den Schlickschen Massenausgleich, wobei auf die Arbeiten von *Heun* und *Lorenz* Bezug genommen wird. Die Reguliervorgänge und die Regulatoren bei Kraftmaschinen werden in einem Abschnitt über Schwingungen mit mehreren Freiheitsgraden behandelt und daran an-

schließend die Schwingungserscheinungen bei Fahrzeugen (Schiffen, Luftfahrzeugen und Lokomotiven) besprochen. Ein weiterer Abschnitt ist der Kreiseltheorie in der Technik gewidmet. Darauf folgen Abschnitte über die Schwingungen fester elastischer Körper, wobei auch die Seil- und Kettenschwingungen untersucht werden, ferner über periodische Bewegungen von unelastischen Flüssigkeiten sowie von Gasen und Dämpfen. Die elektrisch-mechanischen Schwingungsvorgänge (z. B. das Pendeln parallelgeschalteter Wechselstrommaschinen) werden im nächsten Abschnitt erörtert. Darauf folgt eine Darstellung der Theorie der Koppelschwingungen und der Erzeugung von Schwingungen durch unperiodische Kräfte (z. B. das Pendeln von Gleichstrommaschinen). Die nächsten beiden Abschnitte behandeln unter Benutzung der Maxwellschen Gleichungen die in neuerer Zeit so wichtig gewordenen elektromagnetischen Schwingungen, insbesondere die Wechselstromkraftübertragung, die Schwingungsvorgänge in Telephon- und in Telegraphenkabeln und ferner die elektromagnetischen Wellen im Erdraum. Zum Schluß ist ein Abschnitt den nichtharmonischen (pseudoharmonischen und quasiharmonischen) Schwingungen gewidmet. Im Anhang sind in sehr klarer und übersichtlicher Weise die Dimensionen der physikalischen Größen, die Hauptformeln der Vektoranalysis sowie der hyperbolischen, Besselschen und elliptischen Funktionen zusammengestellt. Durch eine ausführliche, sehr zweckmäßig angeordnete Literaturübersicht sowie durch ein Sach- und ein Namenverzeichnis wird der Gebrauchswert des Buches wesentlich erhöht.

Zusammenfassend kann man sagen, daß das vorliegende Buch sowohl bezüglich der klaren und einfachen Darstellungsweise, die den Mathematiker wie auch den Ingenieur zufriedenstellt, als auch bezüglich seines umfassenden Inhalts eine hervorragende Stellung in der wissenschaftlich-technischen Literatur einnimmt. Für die Ingenieure und die technischen Physiker ist es ein unentbehrliches Handbuch und für Studierende ein zu selbständiger Weiterarbeit anregendes Lehrbuch.

*H. Alt, Dresden.*

**Meißner, W., Entfernungs- und Höhenmessung in der Luftfahrt.** Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaften und der Technik Heft 61. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1922. 8°. 92 S. und 66 Abb.

Die Schrift ist auf Veranlassung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt entstanden. Zur Erleichterung des Verständnisses sind die physikalisch-geometrischen Grundlagen ausführlich erörtert. Der erste Teil behandelt die optische Entfernungs- und Höhenmessung, wobei die Höhe aus Entfernung und Höhenwinkel abgeleitet wird. Der Aufbau der Teil- und Raumbildentfernungsmesser sowie die Bauarten der Firmen Hahn, Zeiß und Goerz werden erklärt. Daran anschließend werden die Hilfsapparate für die Fliegerbekämpfung durch Geschütze kurz behandelt (man kann ja im Zweifel sein, ob dies noch zum Thema gehört); hier hätten wohl in der Einleitung die verschiedenen Verfahren in ihrer Eigenart mehr unterschieden werden können; die Behandlung ist freilich dadurch erschwert, daß die Anforderungen an diese Geräte noch nicht genügend geklärt sind und die Durchbildung des Baus erst recht noch in der Entwicklung begriffen ist. Es wird weiter auf die Verwendung der kleinen Zeißischen Baumbildentfernungsmesser im Flugzeuge eingegangen. Es hätte wohl noch die Entfernungsmessung durch Messung des Höhen- oder Tiefenwinkels bei bekannter Höhe in ebenem Gelände oder auf See sowie die Bestimmung der Lage der Geschoßeinschläge zum Ziel Erwähnung verdient. Im zweiten Teil werden zunächst die mathematischen Grundlagen der barometrischen Höhenmessung und das Verfahren von *Mises* zur Ermittlung der Steiggeschwindigkeit aus Barogrammen dargelegt. Dann wird das Aneroid behandelt; es wird gezeigt, wie die von *Warburg* und *Heuse* untersuchte elastische Nachwirkung und Hysteresis durch verschiedene Anordnungen unschädlich gemacht werden kann, woran sich die Beschreibung der Apparate von Fueß und Goerz schließt. Ferner wird noch auf die Variometer zur Feststellung kleiner Höhenänderungen, z. B. beim Landen, eingegangen.

Die optischen Verfahren versagen bei Nacht und Nebel, die barometrischen bei unruhigem Wetter und beim Landen in einer Gegend von unbekannter Höhenlage. Die Erfolge mit *Behms* Echolot für die Bestimmung der Meerestiefe berechtigen zu Hoffnungen für die akustische Höhenmessung vom Flugzeug aus. Auch die Benutzung der elektromagnetischen Wellen ist noch in den Anfängen der Entwicklung. Man hat vorgeschlagen, die stehenden Wellen, die durch Interferenz der ausgesandten und der an der Erdoberfläche zurückgeworfenen Welle entstehen, auszunutzen, indem man die Wellenlänge verändert und zwei benachbarte, für diese Höhe mögliche Wellen aufsucht. Ferner werden die verschiedenen Arten der Richtungsbestimmung mit Antennen und ihre Verwertung für die Ortsbestimmung behandelt.

Namen-, Sachverzeichnis und einige Quellenangaben sind angehängt.

*A. König, Jena.*

**Möller, M., Kraftarten und Bewegungsformen.** Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1922. VIII, 148 S. u. 72 Abb. 14 × 23 cm.

Diese Schrift stellt den ersten Teil einer elementaren Einführung in die Mechanik von durchaus eigenem Gepräge vor. Sie kann dem Leserkreis der „Naturwissenschaften" aus zwei Gründen empfohlen werden. Einmal rückt sie sehr mit Recht den Begriff des Impulses (der Bewegungsgröße) an die Spitze, einen Begriff, dessen grundlegende Bedeutung trotz *Newton* unter der Nachwirkung der sogenannten klassischen Mechanik (wenigstens in Deutschland) lange Zeit fast vergessen war und auch heute in der Lehrbuchliteratur noch nicht wieder voll berücksichtigt zu werden pflegt. Sodann behandelt die Möllersche Schrift neben den hauptsächlich für den Ingenieur wichtigen Anwendungen in der Mechanik (z. B. die Kraftwirkungen in durchströmten Röhren, die Einrammung von Pfählen, die Fundamentschwingungen von Maschinen, die kritischen Drehzahlen, die Kinematik der Strömung in Gerinnen u. a.) eine große Reihe geschickt ausgewählter Probleme der Molekularphysik und der Geophysik, und zwar fast durchweg mit Einflechtung eigener neuer Gedanken des Verfassers, so z. B. die dynamische Fluttheorie, die Theorie der Erdabplattung sowie der Polflucht der an der Erdoberfläche schwimmenden Körper. Die letztgenannten Untersuchungen bilden zweifellos eine wertvolle Ergänzung zu den Wegenerschen Arbeiten über die Entstehung der Kontinente. Man erfährt, durch welche gewaltigen Kräfte die in der plastischen Barysphäre (Sima) eingebetteten Kontinentalschollen (Sal) infolge der Erdrotation äquatorwärts getrieben werden, gewaltig genug, um selbst die Auftürmung großer Kettengebirge zu erklären. Es wird Sache des Geophysikers sein, sich mit diesen Rechnungen kritisch auseinanderzusetzen.

Da der Verfasser, wie man sieht, seine Anwendungsbeispiele mit weitem Griff aus den verschiedensten Gebieten der Naturwissenschaft holt, so ist es nicht erstaunlich, daß er auch in die Physik des Äthers greift. Ich glaube aber kaum, daß die von ihm vorerst nur angedeutete mechanische Äthertheorie die Zustimmung vieler Physiker finden wird, wenn da von „innerem Bewegungszustand des Äthers mit Geschwindigkeiten von Hunderten von Millionen Metern" die Rede ist. Trotz der Einwände, die hier und bei einem Buche von solcher Vielseitigkeit naturgemäß auch noch an manchen anderen Stellen nicht ausbleiben werden (so gegen die kosmologischen Folgerungen aus dem Impulssatze und gegen den Versuch einer Herleitung des allgemeinen Energiesatzes aus dem Impulssatz der Mechanik), ist dem Buche eine weite Verbreitung zu wünschen.

*R. Grammel, Stuttgart.*

**Blumer, Ernst, Die Erdöllagerstätten, Grundlagen der Petroleumgeologie.** Stuttgart, Ferdinand Enke, 1922. XV, 441 S., 125 Abbild. und 40 Tabellen. 16 × 25 cm.

Selten hat ein Werk der technischen Praxis ein größeres Interesse verdient, als das eben erschienene Werk von *Blumer*, das sich ganz besonders mit den Erdöllagerstätten befaßt. Über die Geologie des Erdöles ist in den verschiedenen Kultursprachen ein außerordentlich umfangreiches Material angehäuft. Auch die letzterschienenen größeren Werke über Erdöl, insbesondere von *Höfer*, das Kompendium von *Engler-Höfer*, Werke von *Boverton Redwood*, neuerdings erschienene Werke über die *Ölschieferindustrie*, bringen außerordentlich viel Lesenswertes. Aber in zusammenhängender und leicht faßlicher Form, wie der praktische Petroleumtechniker und Industrielle allein geologische Mitteilungen „verdauen" kann, liegt endlich eine übersichtliche Darstellung in der zu besprechenden Arbeit vor.

Die Einleitung bringt einen ganz kurzen chemischen Teil, der vielleicht doch ein wenig umfangreicher hätte gehalten werden sollen, weil der Petroleumindustrielle über die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Erdöls immerhin mehr wissen muß, auch einiges über die wichtigsten Apparaturen, die es ihm ermöglichen, die charakteristischen physikalischen und chemischen Eigenschaften festzustellen.

Der eigentliche Inhalt gliedert sich in vier Teile, von denen der erste die Erdölanzeichen, der zweite die erdölführenden Gesteine, der dritte die Tektonik der Erdöllagerstätten und der vierte den Inhalt der Erdöllager behandelt. Den Schluß bildet eine Geschichte des Erdöles und daran schließen sich wissenschaftliche Zusätze und Literaturhinweise.

Was die Erdölanzeichen anlangt, ist sehr zweckmäßig auf den nach außen hin scharf in die Erscheinung tretenden Unterschied zwischen Quellen leichter Paraffinöle und Quellen schwerer Asphaltöle hingewiesen. Die ersten zeigen an der Fundstelle braune, leichtbewegliche, raschverdunstende Flüssigkeiten, die zweiten zähflüssige, schwarze, teerähnliche Massen. In beiden Fällen sind Erdgase, Salzwasser und Schwefelwasserstoffe häufige Begleiter. Paraffinöle entspringen zumeist Tongesteinen, Asphaltöle knüpfen ihr Vorkommen an Sand, Sandsteine, selbst Konglomerate, sowie an poröse Kalke. Der Verfasser bringt interessante Folgerungen und Gegenüberstellungen der Ausmaße der Fundstellen und der Erträgnisse sowie Hinweise auf die in den verschiedenen Ländern charakteristischen Asphaltseen unter besonderer Berücksichtigung der bekannten Pechseen von Trinidad und Bermuda. Ein tabellarischer Vergleich der Quellen von leichten Paraffinölen und schweren Asphaltölen erleichtert das Verständnis. Die zweite Gruppe der Erdölanzeichen umfaßt die seit Jahrtausenden bekannten Erdgasquellen und ewigen Feuer. Schon *Herodot* sprach ein halbes Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung, von der brennenden Gasquelle von Chimära in Lykien und die sonstigen Mitteilungen aus dem Altertum über die Feuer von Ninive und Babylon usw. sind ja allgemein bekannt, desgleichen der an die heiligen Feuer, insbesondere von Baku, geknüpfte Feuerkultus der Perser, dessen geistige und kulturelle Idee der Verfasser in treffenden Worten verherrlicht. Eine besondere Besprechung bringt *Blumer* über die ewigen Feuer von Baku.

Endlich sind noch als Erdölanzeichen die bekannten Schlammsprudel und Salsen zu erwähnen. Oft ist dieser Schlamm mit Erdöl durchtränkt. Es gibt solche Schlammsprudel, welche heute noch in Tätigkeit sind. So beschreibt *Cunningham Craig* einen im Mai 1906 in Trinidad erfolgten bedeutenden Ausbruch.

Es gibt auch unterseeische Schlammkegel, die zu Inselbildungen Anlaß geben, solche Inselbildungen haben im Kaspischen Meere, an der Westküste von Birma, in der Nähe von Borneo, in der Nähe von Trinidad usw. stattgefunden. Von Interesse ist der Zusammenhang zwischen Salzvorkommen und Ölregionen, und es gibt keine Ölregion der Erde, in der Salzvorkommen gänzlich fehlen würden. In der Regel finden sich auch Brom- und Jodquellen und vielfach Schwefelquellen, nachdem ja ein großer Teil des Schwefels das Erzeugnis der Fäulnis toter Organismen ist. Schon das Begleitwasser der Erdölquellen zeigt oft Schwefelwasserstoffe, desgleichen das Erdgas. Von geringerer Wichtigkeit sind Kohlensäurefundstellen. —

Der *zweite* Teil befaßt sich mit der Lithologie der Erdölgebiete, also dem erdölführenden Gestein. Die Anschauungen von früher, wonach das Erdöl innerhalb der Erdkruste weite Hohlräume ausfüllte, hat richtigeren Anschauungen weichen müssen. Gelegentlich erscheint ohne Frage das Erdöl als Ausfüllung von Spalten und Klüften. Aber die hervorkommenden Mengen sind herzlich unbedeutende, um nicht zu sagen, verschwindende Ausnahmefälle gegenüber dem Vorkommen in den Poren der Gesteine, und es hängt nun wesentlich von ihrer Porosität ab, wieviel das Material enthält. Der Porenraum ist nach *Blumer* nicht von der Korngröße abhängig, wohl aber von der Gestalt, Lage, Packung der Körner, Vorhandensein oder Fehlen eines Bindemittels usw. Das theoretische Maximum des in dem Gestein möglichen Porenraumes bei Kugelgestalt und gleicher Größe der Teilchen betrage 47,6 %. Eine interessante Tabelle gibt den mittleren Porenraum in Prozent für die verschiedensten Gesteine an. Man kann daraus schließen, welche riesenhafte Mengen in den verschiedenen Regionen der Erde von Öl durchtränkt sind. Die Durchlässigkeit der Gesteine steige und falle mit dem Porenraum, die Strömungsgeschwindigkeit einer Flüssigkeit durch einen porösen Körper hängt von der Viskosität und Temperatur der Flüssigkeit ab und ist annähernd proportional dem Quadrate der Porengröße. Eine scharfe Grenze zwischen durchlässigem und undurchlässigem Gestein ist nicht zu ziehen. Keinesfalls kann man durch Bohrungen allein den ganzen Inhalt eines Öllagers ausziehen. Die Ölsande des Staates New York enthalten noch immer einen namhaften Teil ihres ursprünglichen Ölgehaltes, und in Pechelbronn konnte man durch Auswaschen der

Ölsande dreimal soviel Öl gewinnen als vorher durch die üblichen Bohrmethoden.

Ein weiterer Abschnitt bespricht die Sedimente als Träger der Kohlenwasserstoffvorkommen. Es ist eine Erfahrungstatsache, daß juvenile, unmittelbar aus dem Erdinnern stammende Kohlenwasserstoffe nirgends größere Lagerstätten aufweisen, daß kristallinisches Gestein und seine Sedimente fast gleich ölfrei sind und daß fast alle Sedimentgesteine jedes geologischen Alters, vom Cambrium angefangen, Kohlenwasserstoff führen. Der Menge nach scheinen die ölfreien in Ton- und Tonschiefermassen jene in Sand- oder Kalksteinbänken weit zu überwiegen. Typisch als Träger der Ölvorkommen sind:

1. Ölschiefer, an welchen die meisten Fundstellen leichter Paraffinöle geknüpft sind,
2. Ölsande,
3. Ölkalke.

Eine tabellarische Übersicht läßt die verschiedene Mächtigkeit von Ölsanden erkennen, desgleichen von Ölkalk und Asphaltkalk.

Der Verfasser beschäftigt sich nunmehr mit der „öldurchtränkten Stufenfolge". Es findet sich ein leichter Ölhorizont innerhalb einer bitumenfreien Gesteinfolge. Stets scheinen ausgedehnte Öllager eine einheitliche, mehr oder weniger bituminöse und oft durch und durch öldurchtränkte Schichtenfolge anzukündigen. Eine solche Übersicht über die Mächtigkeit ölführender Stufenfolgen bringt *Blumer* und zeigt, daß beispielsweise das Tertiär von Alaska und der Golfküste mehrere 1000 m hoch ist.

Alle großen Öllager der Erde liegen innerhalb alter Meeresablagerungen und sind in der Regel marine Bildungen. Der Verfasser bespricht den inneren Zusammenhang zwischen Ölvorkommen und Fehlen der Salze und den sonstigen Zusammenhang zwischen Öl und dem Gestein. —

Der *dritte* Teil befaßt sich mit der Tektonik der Erdölgebiete, dem Bau der Erdöllagerstätten, und zwar mit der Ölführung im Faltenlande, den ölführenden Antiklinalen und deren Ausmaßen, den gefalteten Ölregionen, ferner mit der Ölführung im Tafellande und vergleicht ihre typischen Eigenheiten. Ebenso wird auch über die Verteilung der Ölregionen auf der Erde berichtet. Ein weiteres, praktisch interessantes Kapitel ist das des *vierten* Teiles, welches sich mit dem Inhalt der Öllagerstätten befaßt, mit dem Reichtum der Öl- und Gasanhäufungen und der Mitteilung der Erträgnisse besonders reicher Bohrungen, mit dem Druck der Öl- und Gaslager, der Temperatur daselbst, mit der *Dynamik* der Öl- und Gaslager.

Es würde zu weit führen, auf die Fülle des gebotenen und übersichtlich angeordneten Stoffes einzugehen, desgleichen auf Einzelheiten, bezüglich welcher Geologen anderer Auffassung sind. Als Schlußzusammenfassung wird im fünften Kapitel kurz die *Geschichte* des Erdöles mitgeteilt, der Ursprung des Erdöles und die Entstehung desselben nach dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaften geschildert, auf die Erdölwanderungen und Entleerungen der Öllager hingewiesen. Der Anhang enthält eine Reihe von wertvollen, den Text unterstützenden Daten. Das Buch ist mit wohlgelungenen Abbildungen versehen. Wünschenswert wäre wohl eine große Erdkarte, aus der die Geologie der einzelnen Erdölländer in großen Zügen ersichtlich wäre, weil dadurch erst ein recht anschaulicher Vergleich in bezug auf die lokalen Verschiedenheiten möglich wird.

Das Werk ist fesselnd und leichtflüssig geschrieben. Man würde nur wünschen, daß auch andere wissenschaftliche Werke in stilistisch ähnlicher Form abgefaßt würden. Wenn also der Verfasser in seinem Vorwort sagt, daß er als Gegner aller ungenießbaren Darstellungsformen es versucht habe, die Lesbarkeit und Übersicht des oft spröden Stoffes zu erhöhen, so ist ihm dieser Versuch tatsächlich gelungen.

Der Verlag Enke hat das Werk mustergültig ausgestattet. *Leopold Singer, Wien.*

**Höfer-Heimhalt, Hans, Das Erdöl und seine Verwandten.** Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1922. XV, 383 S., 36 Abbild. und 1 Tafel. 16 × 25 cm. Preis Gz. geh. 12,50; geb. 16,—.

Im Jahre 1889 hat *Höfer*, der Nestor der deutschen Erdölgeologen, die erste größere Arbeit über das Erdöl und seine Verwandten veröffentlicht. Erst 18 Jahre später kam die zweite Auflage in die Öffentlichkeit, heute liegt die vierte Auflage vor, welche sich in Einzelheiten von der dritten Auflage nur unwesentlich unterscheidet. Die Geotektonik ist gründlicher als in der dritten Auflage bearbeitet worden, ebenso die Engler-Höfer-Theorie von der Entstehung des Erdöles. Es werden erst einleitend die Bitumina nach ihrer Nomenklatur und Einteilung unterschieden, dann werden über die *Vorkommen* in den einzelnen Ländern die wichtigsten geschichtlichen Daten gebracht, ferner die *physikalischen* und *chemischen* Eigenschaften der Bitumina sowie die chemischen Eigenschaften ausführlich auseinandergesetzt und im fünften Abschnitt auf das *Vorkommen* der Bitumina (Erdöl, Erdgas, Erdwachs und Asphalt) eingegangen, wobei der Text durch zahlreiche Abbildungen unterstützt wird. Ein weiterer Abschnitt befaßt sich mit der *Entstehung* des Erdöls unter besonderer Bezugnahme auf die bekannte, heute wohl von dem größten Teil der Geologen als wahrscheinlich richtig angenommene Theorie von *Engler-Höfer*. Ein für den Praktiker besonders wichtiges Kapitel ist jenes, das sich mit dem *Schürfen* befaßt. Endlich sind ausführliche *statistische* Daten über die Erdölerzeugung in den einzelnen Ländern dem Werke, das in der bekannten Ausführung des Verlags Vieweg erschienen ist, beigegeben. Einer Empfehlung bedarf dieses Werk, welches in den Fachkreisen zu den Standardwerken zählt, längst nicht mehr. *Leopold Singer, Wien.*

**Freudenberg, Wilhelm, Geologie von Mexico.** Berlin, Gebrüder Borntraeger, 1921. VIII, 232 S., 29 Abbild. und 1 Tafel. 16 × 25 cm.

Professor *W. Freudenberg* aus Heidelberg bringt in diesem Werk ein ausführliches Bild über die geologischen Verhältnisse eines Gebietes, welches nahezu 2 Millionen km² umfaßt, bei einer größten Länge von 3126 km und einer größten Breite von 1226 km; sowohl eine umfassende morphologische Übersicht als Stratigraphie und Gebirgsbeschreibung werden wiedergegeben und insbesondere wird auf die eruptiven Gesteine und den Vulkanismus Rücksicht genommen. Für den Praktiker hat das Kapitel auf Seite 177, welches sich mit der geographischen und geologischen Verbreitung der Mineralöllagerstätten befaßt, besonderes Interesse, für den Mineralöltechniker insbesondere die Mitteilungen, welche in diesem Kapitel über das Vorkommen von Erdöl gemacht werden. Die für die Erdölexploitierung hauptsächlich in Betracht kommenden Formationen sind Kreide und Tertiär, wobei die Schichtenfolgen von basaltischen Intrusionen jungtertiären oder frühquartären Alters durchschnitten werden. Es besteht also eine innige Beziehung zwischen vulkanischen Intrusionen und produktiven Ölgebieten. Der Berichterstatter hierüber (*Garfias*) führt aus, daß die

Intrusion auf die Beschaffenheit und Tektonik der intrudierten Schichten besonders wirkt und sie befähigt, große Ölmengen unter gewaltigem Gasdruck aufzunehmen und stellt diesbezüglich eine ganz bestimmte Theorie auf. Der Ursprung des Öles lag wohl in dem unterliegenden Kalkstein, doch wanderte dasselbe nach oben. Eine neue Darstellung des mexikanischen Erdölgebietes bringt *White*. Mit den Ölquellen sind Salzwasserhorizonte geologisch verknüpft, was den marinen Ursprung des Öles zu beweisen scheint. Unter den sonstigen Mineralien, die ausgeführt werden, sind praktisch insbesondere Kohle, Steinsalz, Schwefel, Quecksilber, Kupfer, Blei, Silber, Gold und Eisen von Bedeutung. Das Kapitel „Literatur" besteht leider nur aus Hinweisen ohne Detaillierung, desgleichen wäre wohl eine geologische Übersichtskarte von Mexiko recht erwünscht.

Infolge des Umstandes, daß Mexiko heute wohl das hervorragendste amerikanische Gebiet ist, in welchem Deutsche mit Aussicht auf Erfolg sich wirtschaftlich betätigen können, wird das Buch gerade in deutschen Kreisen mit außerordentlichem Interesse aufgenommen werden. Die Ausstattung ist die bekannt mustergültige. *Leopold Singer, Wien.*

**Stiny, J., Technische Geologie.** Stuttgart. F. Enke, 1922. XII, 789 S., 463 Textabbildungen und eine farbige geolog. Übersichtskarte von Mitteleuropa. 16 × 25 cm.

Das Werk — vorzüglich ausgestattet — will das fehlende „Lehrbuch der Technischen Geologie, welches auf die ungeheuren Fortschritte der Ingenieurwissenschaften und auch der Geologie in gleicher Weise Rücksicht nimmt," liefern. Einzeldarstellungen, wie über Grundwasser und Quellen (*Hoefer*), Steinbruchindustrie (*Hermann*) u. a. bestehen bereits. An einer Zusammenfassung fehlt es bisher. *Keilhacks* „Praktische Geologie" ist ein Handbuch über die Untersuchungsmethoden und für den Geologen bestimmt, *Rinnes* „Gesteinskunde" lehrt nicht die Behandlung der Gesteine, sondern deren Entstehung und Eigenschaften; *Wilsers* „Grundriß" ist bisher nur ein Abriß der angewandten Geologie. *Stinys* Arbeit tritt also in eine Lücke, die immer fühlbarer geworden war, da die Meisterung und Ausnutzung des Erdbodens heute dringlicheres Erfordernis ist als je früher. Der Verfasser verfügt in der Geologie und den technisch-geologischen Fragen in den Ostalpen über große eigene Erfahrungen. Andere Gebiete sind nach der Literatur behandelt. In die allgemeine geologische Darstellung sind immer wieder technische Einzelheiten und Nutzanwendungen eingestreut, die in dieser Fülle nur in langer, mühsamer Arbeit zusammengetragen werden konnten. *Stiny* hat sich da ein großes Verdienst erworben. Ohne dieses schmälern zu wollen, muß ich aber auf drei Erscheinungen in dem Buche hinweisen, die dem Leser immer wieder auffallen:

1. Das Buch gliedert sich in Allgemeine Geologie, S. 1—547, Geschichtliche Geologie mit Geländeformenkunde, S. 549—701, und Einige Fälle der Anwendung der Geologie auf dem Gebiete des Bauingenieurwesens und der Steinbruchtechnik, S. 703—780. Die Seitenzahlen zeigen, wie die Gewichte verteilt sind. Toulas Lehrbuch der Gesamten Geologie, 3. Aufl., umfaßt nur 556 Seiten, und Kaysers Allgemeine Geologie in der 3. Auflage nur 825 Seiten. Man muß sagen, daß das Stinysche Werk mit einigem Zuschnitt unsere großen Geologielehrbücher ersetzen könnte. Ob aber nicht in diesem Vorzug gerade ein Nachteil für eine *Technische* Geologie liegt? Das Wissen, das sich der Ingenieur über geologische Dinge aneignen kann, ist hier *sehr* weit gefaßt, und dagegen sind die Fragen, die der Ingenieur an die Geologie zu stellen hat, zu kurz behandelt. Wenn die Gewichtsverteilung umgekehrt wäre, auf dem Technischen so viel läge wie auf dem rein Geologischen, dann wäre mit dem Buche wirklich die Lücke ausgefüllt, über die die Ingenieure klagen. Warum werden dem Ingenieur 56 Seiten über sternkundliche und physikalische Geologie und mehr als 100 Seiten über Feuerbergerscheinungen dargestellt? Der Abschnitt über Anwendung der Geologie auf dem Gebiete des Bauingenieurwesens und der Steinbruchtechnik umfaßt nur 77 Seiten! Ich habe nach eigenen Erfahrungen mit Ingenieuren nicht den Eindruck, daß wir durch solche weitausholenden Bücher dem Techniker den Wert der Geologie für die Praxis so nahe bringen, wie wir es wünschen. Bei einem Umbau des Buches in der angedeuteten Richtung könnte es eine Technische Geologie werden; die Anlagen dazu hat es. In der vorliegenden Form aber ist es im wesentlichen, wenn wir vom letzten, kleinsten Hauptabschnitt absehen, ein Lehrbuch der Geologie mit Berücksichtigung technischer Fragen.

2. Das mitgeteilte Tatsachenmaterial muß dem wissenschaftlichen Stande zum mindesten bei Beginn der Drucklegung des Buches entsprechen. Dieser hat sich im vorliegenden Falle offenbar lange hingezogen, so daß manche Angaben schon als überholt bezeichnet werden müssen (z. B. daß Vulkane kein Wasser aushauchen, nach *Bruns*, oder beim Technischen die Vernachlässigung geophysikalischer Methoden für Aufschlußarbeiten u. v. a. m.). Ferner müssen sehr viele Unrichtigkeiten — die bei der ersten Auflage eines so umfangreichen Werkes ja leicht unterlaufen — ausgemerzt werden. Die Ausfüllung eines Bleiglanzganges kann im Abschnitt Kristalline Schiefer nicht als Beispiel für ebenplattige Tracht abgebildet werden. Das führt irre. Hälleflinta ist ein kristalliner Schiefer; die Alpengranite heißen Protogine, nicht Protogyne, u. v. a. m. Besonders bedarf der Abschnitt Geschichtliche Geologie einer genauen Nachprüfung der regionalen Angaben. Wenn ich badische Hinweise, da sie mir eben am nächsten liegen, nachprüfe, so dürfen Weizen und Stühlingen nicht als Schaumkalkzementorte genannt werden. Seite 614 heißt es: „Von den Schichten des Mittleren Muschelkalkes sind u. a. die sog. Hauptsteinmergel der Mühlheimer und Freiburger Gegend des Wutachtales abbauwürdig; einen gefällig aussehenden, wetterbeständigen Baustein liefern auch örtlich gewisse Rauhwacken der sog. Anhydritgruppe." Der Hauptsteinmergel liegt nicht im Muschelkalk, sondern im Keuper; Mühlheim soll Müllheim heißen; Freiburg liegt nicht im Wutachtal, dieses zieht vielmehr drüben auf der Ostabdachung des Schwarzwaldes. Die „sogenannte Anhydritgruppe" ist eine Bezeichnung für den gesamten germanischen mittleren Muschelkalk; Rauhwacken heißen richtiger Rauchwacken; das Bezeichnende sind rauchartige Anflüge von Wad, nicht etwa die Rauhigkeit. In diesen vier Zeilen sind vier oder fünf sachliche Unrichtigkeiten untergelaufen. Einige Zeilen weiter heißt es auf S. 614: „abgebaut werden (im oberen Muschelkalk) die Trochitenkalke und die hangenden, oft von Resten der Kopffüßergattung Terebratula erfüllten, sog. Terebratelschichten". Terebratula ist kein Kopf-, sondern ein Armfüßer; außerdem liegen die abbaubaren Terebratelbänke im unteren Muschelkalk. Die Nodosuskalke sind im oberen Muschelkalk wichtig, sie werden

aber nicht erwähnt. — Bei Besprechung des Lias, speziell des Posidonienschiefers, schreibt der Verf.: „Die prächtige Erhaltung der Lebewesen in diesem aus Faulschlamm hervorgegangenen Schiefer hat bei Holzmaden einen schwunghaften Versteinerungshandel ins Leben gerufen.“ Der Posidonienschiefer kann nicht als Faulschlamm bezeichnet werden. Bei Holzmaden handelt es sich um Gewinnung von Kalktafeln für Tische, Wandverkleidungen usw. („Marmor“). Die dabei zutage kommenden Einschlüsse werden von Dr. h. c. *Hauff* sorgfältig mit wissenschaftlichem Verständnisse präpariert und haben die wunderbaren Museumsstücke des Schwäbischen Medusenhauptes und der Ichthyosaurier geliefert. „Schwunghafter Handel“ erweckt eine ganz falsche Vorstellung von der dort geleisteten Arbeit. — Beim Malm werden die Solenhofer Lithographenschiefer mit keinem Worte erwähnt. Die S. 635 genannten Malmkalke gehören nicht dem Oxford, sondern dem Korallien bzw. Rauracien an.

Diese Beispiele sachlicher Fehler wären leider leicht beträchtlich zu vermehren. Wenn es im badischen Teile so ist, wird es auch in anderen dem Verfasser „fernerliegenden“ Gebieten kaum anders sein. Das beeinträchtigt aber den Wert des Buches ganz außerordentlich. In den österreichischen Alpen ist *Stiny* zuhause; dort sind seine Angaben sicherlich zuverlässig, aber sogleich zu sehr ins Einzelne gehend. Im ganzen geschichtlichen Abschnitt wird der Techniker immer noch zu viel mit geologische Einzelnamen beschwert. Je mehr man die historische Geologie zusammenzieht, um so mehr müssen die Einzelheiten mit ihren unzähligen Namen fortbleiben und um so mehr die großen Zusammenhänge herauskommen.

3. Im ganzen Buche sind Fachausdrücke möglichst vermieden und an ihre Stelle Übersetzungen eingefügt, so z. B. für Maximalthermometer „Höchstbetragwärmemesser“, für Lava „Glutteig“, für Vulkan „Feuerberg“, für Vogesensandstein „Wasgensandstein“ usw. Abgesehen von den sprachlichen Unschönheiten entstehen durch solche Übertragungen von Fachausdrücken unklare, wenn nicht gar falsche Vorstellungen. Die Verwitterung unter dem Einfluß von Lebewesen wird unter der Überschrift „Gesteinbelebung“ abgehandelt. Tiefenintrusionen als Feuerbergerscheinungen zu bezeichnen, geht wohl kaum an. Der Begriff Vulkanismus umfaßt eben viel mehr als nur die „Feuerbergerscheinungen“. Für Formation ist S. 554 Block eingesetzt. S. 555 ist auch Massiv des Urgebirges mit Block übersetzt. Das führt zu Mißverständnissen. S. 23 wird Meteorit mit Feuerkugelstein übersetzt. Wenige Zeilen nachher steht dafür Sternschnuppenstein, und es heißt: „Die eisenarmen Sternschnuppensteine heißen auch Feuerkugelsteine (Steinmeteoriten) schlechtweg.“ Die Fachausdrücke sind internationales Gut, das nicht nach Bedarf „mundgerecht“ gemacht, vergewaltigt werden soll. Zweifellos muß die deutsche Sprache von vielem Fremdem, das uns die geschichtliche Entwicklung gebracht hat, wieder befreit werden; aber wenn es auf diese Art und auf diesem Wege versucht wird, fördern wir die Wissenschaft und den Schüler kaum. Im übrigen ist der Techniker aus seinem eigenen Beruf an fremdsprachliche Fachausdrücke gewöhnt.

Die Stärke des Buches liegt im letzten, vierten Hauptabschnitt, S. 703—797. Ebenso erfreuen die Abschnitte über die Wirkungen des Wassers und über Bodenbewegungen. Da kann auch der Fachgeologe noch vieles lernen. Es ist das eigentliche Arbeitsgebiet *Stinys*. Wenn die übrigen Teile des Buches in gleicher Art wie diese behandelt werden, wird die Technische Geologie, die so sehr Bedürfnis ist, geschrieben sein. *J. L. Wilser, Freiburg i. B.*

**Lippmann, E. O. von, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik.** Berlin, Julius Springer, 1923. VIII, 314 S. und 2 Abbildungen im Text. Grundzahl 8; geb. GZ. 9,5.

Den bereits in den Jahren 1906 und 1913 erschienenen beiden Bänden „Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften“ läßt der unermüdlich tätige Verfasser diese neue Sammlung geschichtlicher Abhandlungen folgen. Sie umfaßt 36 während der Jahre 1913—1922 in verschiedenen Zeitschriften erschienene Aufsätze aus der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, beginnend mit den chemischen Papyri des dritten Jahrhunderts und endend mit einem Festaufsatz zum hundertjährigen Geburtstage *Robert Mayers*. Der großen Vielseitigkeit und der erstaunlichen Belesenheit des Verfassers ist es möglich, die Grenzen des bearbeiteten Gebietes außerordentlich weit zu spannen. Neben den grundlegenden Abhandlungen über die Entdeckung des Alkohols und der Mineralsäuren treffen wir z. B. Untersuchungen über Chemisches und Technisches bei *Dante*, über das Verhältnis von *Petrarca* zur Alchemie sowie über *Goethes* Faust. Und in der sechsten Abteilung, die der Geschichte der Zuckerindustrie gewidmet ist, fehlt auch nicht ein Aufsatz über „*Goethe* und die Zuckerfabrikation“.

Auf die Abhandlungen im einzelnen einzugehen, dürfte sich erübrigen. Jedem, der das Buch zur Hand nimmt, wird sich die Wahrheit des Wortes bestätigen: Wer vieles bringt, wird manchem etwas bringen. Die Verlagsbuchhandlung Julius Springer hat sich erneut ein großes Verdienst erworben, daß sie allen Schwierigkeiten zum Trotz ein solches Buch nicht nur gedruckt, sondern in solch ausgezeichneter, unverändert „friedensmäßigen“ Aufmachung herausgebracht hat. Das Buch ist der preußischen Akademie der Wissenschaften gewidmet, in Dankbarkeit dafür, daß dem Verfasser gelegentlich des Erscheinens seines großen Werkes über die Entstehung und Ausbreitung der Alchemie in Anerkennung seiner gesamten geschichtlichen Arbeiten von der Akademie die Leibniz-Medaille verliehen wurde.

Möchten uns noch manche Gaben aus dem reichen Wissensschatze und der unablässig wirksamen Forscherwerkstätte des Verfassers beschieden sein, so daß er in einigen Jahren wiederum einen stattlichen Sammelband der dankbaren Leserschaft darbieten kann.

*Lockemann, Berlin.*

**Becker, Friedrich, Sternatlas.** Nach der vierten Auflage von Littrows Atlas des gestirnten Himmels vollständig neu bearbeitet. Mit einer Einleitung von *J. Plaßmann*. Berlin, Ferd. Dümmlers Verlagsbuchhandlung, 1923. 22 × 29 cm. Preis Gz. 6.

*Littrows* Atlas des gestirnten Himmels hat trotz mancher ihm anhaftenden Fehler ziemlich weite Verbreitung gefunden. Eine Neubearbeitung des vergriffenen Werkes darf darum begrüßt werden. Freilich der Hauptfehler, die unvollkommene Projektionsweise, die der Bearbeiter der zweiten Auflage vom Jahre 1853 schon selber bemängelt, und die eine übermäßig starke Verzerrung vieler Sternbilder in der Zeichnung zur Folge hat, ist belassen worden. Als Verbesserung kann die Stellung des Gradnetzes auf das Aequinoctium 1940.0, die Fortlassung der Figuren

der Sternbilder und die Zeichnung der Milchstraße nach den Beobachtungen von *Heis* und *Gould* gebucht werden. Eine Verschlechterung dagegen hat die drucktechnische Ausstattung erfahren. Das Prinzip *Littrows*, Sterne durch Kreise zu bezeichnen, deren Durchmesser Funktionen der Helligkeit sind, ergab ein sehr deutliches und auch ästhetisch überaus schönes Kartenbild. Die konventionellen Sternchen und Kreuze der neuen Ausgabe bringen die Helligkeitskontraste für das Auge weniger zum Ausdruck und erzeugen ein unruhiges und verwaschenes Kartenbild. Auch die Beschriftung ist — im Gegensatz zu den früheren Auflagen — oft undeutlich.

Statt der veralteten Zeichnungen in den früheren Auflagen sind acht Bilder von Sternhaufen und Nebelflecken nach modernen photographischen Aufnahmen beigegeben. Ferner ist der Atlas um eine Mondkarte nach *Lohrmann* und *Mädler* bereichert. Die leichtfaßlich geschriebene Einleitung, besonders die ausführliche Anleitung zum Alignement wird Anfängern das Aufsuchen der Sterne am Himmel sehr erleichtern.

*R. Prager, Berlin-Neubabelsberg.*

---

## Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie der Wissenschaften in Wien 1922.

*12. Januar.*

Das w. M. Hofrat *E. Lecher* überreicht zur Aufnahme in die Sitzungsberichte eine Arbeit von *Artur Boltzmann* und *Alfred Busch:* **Über die Abhängigkeit der Lichtstärke der Hefnerlampe vom Luftdruck.** Die Verfasser untersuchten im Auftrage der Österreichischen Normal-Eichungs-Kommission im Sommer und Herbst 1913 die Hefnerlampe in Stationen verschiedener Höhe, und zwar in *Wien* (165 m), *Böckstein* (1125 m), *Moserboden* (1965 m) und *Hoher Sonnblick* (3100 m). Die Versuche ergaben eine für die vierte Dezimalstelle sichere Bestätigung des von *Butterfield, Haldane* und *Trotter* angegebenen Einflußkoeffizienten des Luftdruckes von der Größe 0,0004 HK pro Millimeter Quecksilber, unabhängig davon, ob zur Reduktion auf Normalfeuchtigkeit und Normalkohlensäuregehalt die von *Liebenthal* angegebenen Einflußkoeffizienten oder die von den Verfassern selbst aus den Anomalien der Lichtstärke in Wien gerechneten Einflußkoeffizienten verwendet wurden.

Universitätsdozent Dr. *Robert Dietzius* in Wien überreicht eine Abhandlung mit dem Titel: **Die Verteilung der Helligkeit auf der Sonnenscheibe und die Temperaturschichtung in der Sonnenatmosphäre.** Nach den geläufigen Anschauungen besteht die Sonne aus einem Kern hoher Temperatur und einer kühleren Gashülle. Neue Forschungsergebnisse zwingen dazu, die Annahme eines Kernes mit festliegender fester oder flüssiger Oberfläche dahin abzuändern, daß, soweit unser Blick in die Sonne dringt, der Kern ebenfalls eine Gasmasse ist, welche nur infolge ihrer Mächtigkeit wie eine jede hinreichend dicke Gasschicht ein kontinuierliches Spektrum liefert. Die so errechnete Abnahme der Helligkeit von der Scheibenmitte zum Sonnenrand stimmt sehr gut mit *Abbots* Messungen überein.

*26. Januar.*

**Kopftransplantation an Insekten. III. Einfluß des replantierten Kopfes auf das Farbkleid anderer Körperteile** von *Walter Finkler.* Nach Transplantation eines Hydrophiluskopfes auf Dytiscus marg. verschwindet der gelbe Randstreifen vollständig. Das früher braune, glänzende Chitin wird schwarz und matt. Wird aber der Kopf von einer Notonecta glauca, deren Flügeldecken experimentell pigmentiert worden waren, auf eine normale N. glauca transplantiert, so vermag das Transplantat an der nicht pigmentierten N. glauca Färbung und Zeichnung hervorzurufen. Werden Köpfe von Stabheuschrecken (Dixippus) von grünen auf braune Individuen transplantiert, so nimmt der Körper die grüne Blendungsfarbe an, die beständig bleibt. Bei Replantation brauner Köpfe auf schwarze Körper nimmt letzterer zuerst die grüne Blendungsfarbe für zwei Wochen an und wird dann braun. Die Larven der Mehlkäfer (Tenebrio) nahmen stets eine einheitliche Färbung an, die der Farbe des neuen Kopfteiles entsprach. Wurden Kopfteile von hellen auf dunkle Schmetterlingspuppen (Vanessa Io u. urticae) replantiert, so zeigte sich, daß zuerst die am Stocke verbliebenen distalen Fühlergeiseln, später verschiedene andere Teile der Puppe die Färbung des Kopfes annahmen.

*Die Puppenfärbungen des Kohlweißlings, Pieris brassicae L. Achter Teil:* **Die Farbanpassung der Puppen durch das Raupenauge,** von *Leonore Brecher.* Wurden die Augen verpuppungsreifer Raupen mit gelbem Lack überstrichen und die Tiere in neutraler Umgebung aufgestellt, so entstanden vorwiegend die für gelbe Umgebung charakteristischen grünen Puppen. Überstreichung der Augen mit blauer Farbe hatte die Entstehung durchweg mittlerer Puppen, wie sie auch in blauer Umgebung entstehen, zur Folge. Papiere von vollkommen gleichem Helligkeitswert (nach *Hering*) ergaben als Verpuppungshintergrund dem Farbtypus nach grundverschiedene Puppen: so entstanden auf Gelb (*Hering* Nr. 4) durchweg die typischen grünen durchsichtigen Puppen ohne schwarze Fleckenzeichnung, dagegen auf Grau der gleichen Helligkeit (Grau = Gelb Nr. 4) keine grünen, sondern die neutralen Bedingungen entsprechenden grünlich-grauweißen opaken Puppen mit ausgesprochener schwarzer Fleckenzeichnung — mittlere Puppen.

**Die Puppenfärbungen der Vanessiden.** II., von *Leonore Brecher.* Wurden Raupen mit farbig überstrichenen Augen anstatt in neutraler Umgebung unter farbigen Sennebierschen Glocken zur Verpuppung aufgestellt, so zwar, daß Raupen mit gelb lackierten Augen unter blauer (Kupferoxydammoniak), die mit blau überstrichenen Augen unter gelber (Kaliumbichromat) Glocke kamen, so ergaben die Raupen mit gelb lackierten Augen unter blauer Glocke zur Hälfte goldgrüne Puppen (Jo) bzw. durchweg Goldpuppen (*urticae*), also für gelb charakteristische Puppen. Die Verwendung von ihrem Farbton und Sättigungsgrad nach bestimmten Farbpapieren (nach *Hering* und *Wilhelm Ostwald*) ergab nur in Gelb die Goldpuppen (*urticae*), während von der Grauserie kein einziges eine ähnliche Wirkung wie Gelb hervorgebracht hat. Reines Blau ergab keine ganz dunklen, jedoch dunklere Puppen als das ihm in der Helligkeit entsprechende Grau.

**Die virtuelle und reelle Lage des Amphibienembryos nach natürlichen und künstlichen Marken am Ei des Alpenmolches, Molge alpestris,** von *Hans Przibram.* Beim Alpenmolche kommen Eier vor, deren nach aufwärts gerichteter Pol inmitten der pigmentierten Kalotte durch eine Stelle anderer Farbe ausgezeichnet ist. Dieses „Zenitfeld" bleibt bei der Furchung mehr oder minder lange sichtbar. Die erste Furche teilt es entweder symmetrisch und wird dann zur Mediane, oder

sie geht asymmetrisch neben dem Zenitfelde durch, worauf dieses jeweils bloß einer Blastomere zugeteilt wird. Wird das Zenitfeld mit einer Glasnadel angestochen, so erscheint eine dadurch permanent hell bleibende Stelle oder eine Hernie, welche der Nackengegend des sich sonst normal entwickelnden Embryos aufsitzt. Hat man durch Anlegen einer Haarschlinge die Lage des sich bildenden Embryos festzulegen gesucht, so kommt der Kopf desselben über derjenigen Seite des Eiäquators zu liegen, die der Verschwindungsstelle des Zenitfeldes entgegengesetzt ist, so daß der Nacken ihr selbst gegenüberliegt. Will man von einem „virtuellen" Embryo im ungefurchten Ei sprechen, so läge dessen dorso-anteriore Nackengegend aufwärts, während der sich entwickelnde „reelle" Embryo durch Absinken der ursprünglich oben liegenden (stärker pigmentierten) Kalotte mit der caudalen Partie des Rückens nach aufwärts gekehrt ist.

**Über Fällungsreaktionen in Chlorophyll- und anderen Farbstofflösungen,** von *M. Eisler* und *L. Portheim.* (Vorläufige Mitteilungen.) Werden mit 95 % Alkohol erzeugte Extrakte aus grünen Blättern in gewissen Mengenverhältnissen mit wässerigen Auszügen aus Blütenblättern derselben oder einer verschiedenen Pflanzenart zusammengebracht, so kommt es zunächst zu einer Trübung und später zu einer flockigen Fällung. Dieselbe Veränderung tritt durch den Zusatz wässeriger Extrakte aus Kotyledonen und Wurzeln sowie von tierischem Eiweiß (Pferdeserum) ein. Untersuchungen über die Natur der an dem Fällungsprozeß beteiligten Körper haben ergeben, daß in den alkoholischen Extrakten der grüne Farbstoff, in den wässerigen die Eiweißstoffe in Betracht kommen.

Das w. M. Hofrat *E. Lecher* legt eine Arbeit von Prof. Dr. *Friedrich Kottler* in Wien vor, betitelt: **Newtonsches Gesetz und Metrik.** Es wird die alte Frage nach dem Zusammenhang des Newtonschen Attaktionsgesetzes mit der geometrischen Natur unseres Raumes behandelt. Es wird gezeigt, daß vom Standpunkt der Feldphysik das Newtonsche Gesetz bzw. die Laplacesche Differentialgleichung, deren Integral es ist, aus gewissen Integralsätzen entspringt, die ein zweifaches Integral über eine geschlossene Oberfläche mit einem dreifachen Integral über deren Inneres verknüpfen, und die durchaus keinen metrischen Charakter haben. Jene Frage muß also verneinend beantwortet werden; reine Feldphysik und Metrik sind voneinander unabhängig.

Prof. Dr. *Robert Sterneck* aus Graz überreicht eine Abhandlung mit dem Titel: **Schematische Theorie der Gezeiten des Schwarzen Meeres.** Die Arbeit behandelt den Idealfall eines rechteckigen Beckens konstanter Tiefe. Unter der Einwirkung der fluterzeugenden Kräfte entsteht eine Ostwest- und eine Nordsüdschwingung, zu denen dann infolge der ablenkenden Kraft der Erdrotation noch eine weitere Nordsüd- bzw. Ostwestschwingung hinzutreten. Die Zusammensetzung ergibt bei den Halbtagszeiten eine Amphidromie im Sinne der Bewegung des Uhrzeigers (in vollem Einklang mit den vom Verfasser in den Jahren 1912 und 1913 an den Küsten des Schwarzen Meeres beobachteten Hafenzeiten), bei der Eintagszeit $K_1$ aber eine solche mit entgegengesetztem Umlaufsinn.

Dr. *Gustav Klein* legt eine im Pflanzenphysiologischen Institut der Wiener Universität ausgeführte Arbeit vor, unter dem Titel: **Der histochemische Nachweis der Flavone.** Es ist gelungen, eine einheitliche Methode zur Kristallisation der ganzen Körperklasse auszuarbeiten. Die Halogensäuren, besonders Salzsäure, scheiden, wenn man sie unter dem Sublimationsring bei ca. 40° Wärme auf flavonhaltige Gewebsstückchen einwirken läßt, diese Stoffe lokalisiert in schön kristallisierter Form ab. Damit ist die Möglichkeit gegeben, diese weitverbreitete Gruppe von Pflanzenstoffen histochemisch zu verfolgen, zu bestimmen und die vielfachen Verwechslungen mit anderen Stoffen, besonders Gerbstoffen, zu vermeiden.

*23. Februar.*

Das w. M. *G. Jäger* überreicht eine von Frau Dr. *Alice Duschek* (Frankfurt) im II. Physikalischen Institut der Wiener Universität ausgeführte Arbeit über: **Die Helligkeitsunterschiedsempfindlichkeit in ihrer Abhängigkeit vom Orte der Farbe im Farbraum.** Zweck der Arbeit war die Bestimmung der Helligkeitsunterschiedsempfindlichkeit in ihrer Abhängigkeit von den drei Farbempfindungseigenschaften: Farbton, Sättigung und Helligkeit, womit eine der zur Farbenmetrik auf physiologischer Grundlage nötigen Angaben gewonnen ist, nämlich die Möglichkeit, an jeder Stelle des Farbenraumes die Helligkeitsunterschiedsempfindlichkeit anzusagen. Die verschiedenen Farbtöne lieferten geeichte „Heringsche Pigmentpapiere", die verschiedenen Sättigungen wurden durch Zumischen von Weiß mit dem Farbenkreisel erzielt und die Variation der Helligkeit erfolgte durch Änderung der Beleuchtungsstärke (rotierender Sektor). Die Untersuchungsmethode beruhte auf dem „Eeben-noch-Wahrnehmen" eines bewegten Schattens (beidäugig beobachtet). Es ergab sich: Die relative Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten, $y$, läßt sich als Funktion der Helligkeit $H$ darstellen durch $y = A + B \log H$, worin $B = \varphi(\lambda) - D \cdot S$ eine Funktion des Farbtones $\lambda$ und der Sättigung $S$ ist. $\varphi(\lambda)$ hat Maxima in Grün und Rot, Minima in Blau und Gelb.

Das w. M. Hofrat *E. Lecher* legt eine Arbeit von Prof. Dr. *F. Kottler* vor mit dem Titel: **Maxwellsche Gleichungen und Metrik.** Die vorliegende Arbeit ist die Fortsetzung der vorangegangenen Arbeit des gleichen Verfassers: „Newtonsches Gesetz und Metrik". Der Grundsatz der Unabhängigkeit der reinen Feldphysik von der Metrik der betreffenden Mannigfaltigkeit, in welcher die Feldvorgänge stattfinden, wird hier an den Maxwellschen Gleichungen der Elektrodynamik erhärtet, die sich auf eine gleichfalls von aller Metrik unabhängige Gestalt bringen lassen, wie dies schon beim Newtonschen Attraktionsgesetz gezeigt worden war.

Das k. M. Prof. *Felix M. Exner* legt folgende Arbeit vor: **Zur physikalischen Auffassung der Gefällskurve von Flüssen.** Die allmähliche Ausbildung des Längenprofils eines Flusses führt zur „Normalgefällskurve", die durch stetige Abnahme des Gefälles flußabwärts charkterisiert ist. Die doppelte Rolle, die das fließende Wasser für die Unterlage spielt, die Abtragung und die Verschiebung der beweglichen Massen läßt eine physikalische Überlegung über diesen Vorgang zu.

*9. März.*

Dr. *F. Gölles* übersendet eine Abhandlung: **Kältewellen im Gebiete des Kaspischen Meeres.** Die Untersuchung des Abkaufes von Kältewellen im Gebiete des Kaspischen Meeres ergab, daß in der kälteren Jahreszeit die große Wasserfläche stark erwärmend auf die darüberfließenden kalten Luftmassen wirkt, wobei die Erwärmung sich nur auf die unteren Schichten der Kältewelle erstreckt. Der Einfluß der Wasserfläche erweist sich als bedeutender als die Schutzwirkung des benachbarten Kaukasusgebirges.

*23. März.*

Das w. M. *R. Wegscheider* überreicht zwei Arbeiten aus dem Laboratorium des Prof. *Zellner* an der Staatsgewerbeschule Wien, XVII.:

1. **Zur Chemie der höheren Pilze.** *XVI. Mitteilung.* **Über Pilzlipoide,** von *Rudolf Rosenthal.* Die Arbeit soll einen Beitrag zur Kenntnis der in den Pilzen vorkommenden Sterine und Cerebrine liefern. Es wird gezeigt, daß die zahlreichen, in Pilzen gefundenen Sterine Gemische einiger weniger chemischer Individuen sind.

2. **Beiträge zur vergleichenden Pflanzenchemie. IV. Über Juncus effusus L.,** von *Julius Zellner.* Die chemische Untersuchung dieser Pflanze, die einer bisher fast gar nicht untersuchten Ordnung angehört, ergab das Vorhandensein von fett- und wachsartigen

Stoffen, Traubenzucker, cholinartigen Basen, Phlobaphen, Alkalichloriden, reichlichen Mengen von Membranstoffen, darunter viel Pentosanen, hingegen nur geringer Mengen wasserlöslicher Polysaccharide und Proteide. Spezifische Stoffe konnten nicht gefunden werden.

*6. April.*

**Die Replantation von Augen. V. Resultate der anatomischen Untersuchung von transplantierten Augen,** von *Walter Kolmer*. Die Augen von den in den Mitteilungen von *Koppányi* angeführten Tieren wurden histologisch untersucht. Es zeigte sich bei Homoiotransplantaten der Kaltblütler, daß auch nach Monaten ein großer Teil aller Elemente und Schichten der Netzhaut morphologisch genau wie in normal *funktionierenden* Augen erhalten blieb. Der anatomisch zusammenhängende Sehnerv führte färbbare, wahrscheinlich regenerierte Fasern, die sich bis ins Chiasma verfolgen ließen. Bei Säugern (Ratten Homoioplastik, Kaninchen Autoplastik *Kolmers*) fanden sich nach zwei Monaten in den Augen alle Schichten der Netzhaut teilweise erhalten. Bündel von Opticusfasern ließen sich bis ins Chiasma verfolgen.

**Die Replantation von Augen. VI. Wechsel der Augen und Körperfarbe bei Anamniern,** von *Theodor Koppányi*. *Der Wechsel der Augenfarbe kommt in manchen Tierarten normalerweise vor, während der Ontogenese des Feuersalamanders, wobei der gelbe Irisring pigmentiert* (melanisiert) *wird.* Es wurden larvale Salamanderaugen in die Orbita arterwachsener Teichmolche verpflanzt, und es zeigte sich dabei, daß nach einigen Wochen eine totale Irispigmentierung eintrat. Das in die Orbita des Feuersalamanders verpflanzte Karauschenauge bekam eine dunkel pigmentierte Regenbogenhaut. Die Kontrollversuche wurden derart angestellt, daß *Molge vulgaris*-Augen auf pigmentierte und albinotische Exemplare der Axolotllarve verpflanzt wurden. Diese Augen wiesen nach Wochen eine starke Veränderung der Irisfarbe auf (ein Teil der goldglänzenden Iris wurde dunkel gefärbt), sowohl an den pigmentierten, als auch an den albinotischen Individuen. Bei der alleoplastischen Replantation der Siredonaugen ergab sich, daß der Augenhintergrund albinotischer Augen *in wenigen Tagen* pigmentiert wird. Die Verpflanzung der Augen auf die Nackengegend der Unke hebt die Blendungsfarbe keineswegs auf, wohl aber kann sie rückgängig gemacht werden, mittelst funktioneller Augenübertragung in der Orbita, wobei es zu einer Aufdifferenzierung der Netzhaut und zum Anschluß des spezifischen Nerven kommt.

**Die Replantation von Augen. VII. Dressurversuche an Ratten mit optisch verschiedenen Futtergefäßen,** von *Auguste Jellinek*. Um weitere Beweise für die Sehfähigkeit der von *Th. Koppányi* transplantierten Rattenaugen zu erhalten, wurden Dressurversuche an normalen Ratten, blinden und solchen mit transplantierten Augen ausgeführt.

a) *Normale. Die Ratten wurden dann auf Unterscheidung weißer Porzellan- und farbiger Glasgefäße von gleicher Form dressiert und lernten diese Unterscheidung alle in zirka 12 Tagen.*

b) *Blinde: Blinde Ratten waren auch nach monatelanger Dressur nicht fähig, das Futtergefäß auf direktem Wege ohne längeres Herumsuchen zu finden.*

c) *Ratte mit transplantierten Augen: Die Ratte mit transplantierten Augen lernte die Unterscheidung eines weißen Porzellangefäßes von einem blauen Glasgefäß innerhalb von 16 Tagen. An den letzten 3 Tagen der Dressur ergaben sich fortlaufende Serien von je 10 richtigen Resultaten.*

**Die Replantation von Augen. VIII. Hetero- und Dysplastik,** von *Theodor Koppányi*.

Die Möglichkeit der Herstellung heteroplastischer Verbindungen im Tierreiche wurde oft untersucht und es ergab sich immer, daß solche auch bei den Wirbellosen sehr eng begrenzt sind. Die Augen, die eine in die Tunica fibrosa eingeschlossene Kugel darstellen, sind zum Zwecke der Verpflanzung besonders günstig. In der Klasse der Fische gelingt die heteroplastische Augenreplantation zwischen Carassius- und Alburnusarten; in der Klasse der Amphibien zwischen Molge und Salamandra. Molgeaugen auf Siredonarten und umgekehrt aufgepfropft, heilen tadellos ein. Die Dysplastik wurde zwischen Individuen der Salamandra maculosa und Carassius vulgaris ausgeführt. Günstige Resultate lieferte die Überpflanzung des Trutta fario-Auges in die Augenhöhle des larvalen Salamanders.

Das w. M. Hofrat *G. Jäger* überreicht eine Abhandlung von Dr. *Adolf Smekal* mit dem Titel: **Versuch einer allgemeinen, einheitlichen Anwendung der Quantentheorie und einer Quantentheorie der Dispersion.** (Vorläufige Mitteilung.) Die bisherigen Anwendungen der Quantenpostulate (I. Existenz stationärer Zustände, II. Bohrsche Frequenzbedingung, III. Korrespondenzprinzip, IV. Festlegung des untersten Quantenzustandes) beschränken sich allein auf prinzipiell *isolierbar* gedachte, aus positiven und negativen Elementarladungen bestehende Gebilde (Atome, Molekeln, Einzelkristalle). Alle Wechselwirkungen zwischen solchen Gebilden werden also als unter Umständen vernachlässigbar gering angesehen und darum namentlich die gegenseitige Translation dieser Gebilde *klassischen* Gesetzen unterworfen, während die Strukturen dieser Gebilde selbst prinzipiell andersartigen, eben den *Quantengesetzen* gehorchen sollen. Die prinzipielle Gleichartigkeit aller die genannten Gebilde aufbauenden Ladungen verbietet jedoch eine solche prinzipielle Abgrenzbarkeit der Gebilde gegeneinander. Unterwirft man somit auch diese Wechselwirkungen der gewöhnlich als selbständig gedachten Gebilde (Atome, Molekeln, Ionen, Einzelkristalle) den Quantenpostulaten, so hat man diese gewohnte, mehr oder minder willkürliche Abgrenzung der Gebilde außer acht zu lassen und die Bewegung *aller* Elementarladungen in einem beliebig großen Raumteil der Welt als prinzipiell einheitliches Quantenproblem aufzufassen. Die Natur der einzelnen diskreten Quantenzustände erschließt man dann ähnlich wie bei einem beliebig komplizierten Atom, Molekül oder Kristall: in jedem Fall handelt es sich um Partikularlösungen des zugehörigen mechanischen Bewegungsproblems, welche eine Entwicklung nach endlich vielen unabhängigen Perioden einer mehrfachen Fourierschen Reihe zulassen, deren genauere Auswahl durch die Schwarzschildsche Form der Quantenbedingungen und das Korrespondenzprinzip festgelegt wird. Die Ladungen der Einzelatome, -molekeln, -ionen sind jetzt nicht mehr bloß untereinander durch Quantenvorschriften aneinandergebunden; doch haben die elektrischen Eigenschaften dieser Gebilde zur Folge, daß die zwischenmolekularen Quantenbindungen die Eigenfrequenzen dieser Gebilde im allgemeinen nur unmerklich gegenüber jenen an den isoliert gedachten Gebilden errechneten Frequenzen verändern. Nur bei der Verbreiterung der Spektrallinien bei Dispersion und Beugung kommen diese Abweichungen merklich zur Geltung. Die Frequenzen der zwischenmolekularen Quantenbindungen erfüllen die Gesamtheit aller denkbaren positiven Werte innerhalb weiter Grenzen *praktisch* überall dicht. Mit Berücksichtigung dieses Umstandes ermöglicht die vorgeschlagene Anwendung der Quantenpostulate eine völlig einheitliche Erklärung aller spektralen Erscheinungen von den Linien- und Bandenspektren bis zu den kontinuierlichen Spektren und der Wärmestrahlung. Sie bewährt sich, worauf hier nicht näher eingegangen werden kann, aber auch bei anderen Fragen von prinzipieller Tragweite; so enthält sie die wichtige Theorie der Reaktionsgeschwindigkeiten von *M. Polanyi* als spezielle Folgerung in sich. Versucht man auf Grund der vorgenommenen einheitlichen Anwendung der Quantentheorie den Fragen der Lichtausbreitung näherzutreten, so erheben sich die alten Schwierigkeiten der bisherigen Quantentheorie, vor allem Strahlungsfreiheit der stationären Quantenzustände und mangelnde Lokalisierung der Lichtemission,

in verschärfter Form. Das prinzipiell unzerreißbare Netz der zwischenmolekularen Quantenbindungen ermöglicht — wie dies schon, freilich in ganz anderer Form, *W. Schottky* zu umreißen versucht hat — eine quantentheoretische Umdeutung der Lorentz-Ritzschen Darstellung aller Feldvorgänge der Maxwellschen Theorie, die sich ausschließlich auf die gegenseitigen Wirkungsänderungen der materiellen Teilchen (der Elementarladungen) bezieht. Die Wechselwirkungen der positiven und negativen Elektronen dürfen strenggenommen nicht mehr nach dem zeitlos wirkenden Coulombschen Gesetze, sondern nach retardierten Potentialen angesetzt werden; die notwendige Strahlungsfreiheit der Quantenbahnen erfordert dann freilich Abweichungen von der strengen Form des Coulombschen Gesetzes in der unmittelbaren Nähe (10 bis 12 cm) der Elementarladungen, doch hat man seit den Betrachtungen von *W. Lenz* und dem Verfasser über den Energieinhalt der Atomkerne mit dieser Möglichkeit bereits zu rechnen begonnen. Geht nun irgendwo in der Welt ein „Quantenübergang" vor sich, so breitet sich die so verursachte, nur im gewissen Sinne als „lokal" zu bezeichnende Veränderung mit Lichtgeschwindigkeit derart über das Netz der intra- und zwischenmolekularen Quantenbindungen aus, daß nach Ablauf einer gewissen Lichtzeit, gemessen von einer bestimmten Bezugselementarladung aus, diese Störung wieder endigt, indem das emittierte Lichtquant durch einen bestimmten anderen „Quantenübergang" wieder absorbiert wird. Äther- und Feldbegriff werden für diese Vorstellung von der Art der Lichtausbreitung völlig entbehrlich. Normale und anormale Dispersion (und ähnlich die Beugung) finden ihre Erklärung in den Verschiedenheiten jener Quantenbindungen, die von der Ausbreitung jener Störung, welche die Emission und Wiederabsorption eines Lichtquants durch die Welt bedeutet, quantitativ am meisten betroffen werden.

*4. Mai.*

Das w. M. Hofrat Prof. Dr. *A. Durig* überreicht folgende Arbeit: **Über den Einfluß dauernder elektrischer Durchströmung auf Fische,** von *Ferd. Scheminzky* in Wien, (Aus der biologischen Station am Lunzersee, Niederösterreich, und dem physiologischen Institut zu Wien.) Die durch den elektrischen Gleichstrom getöteten Eier von *Salmo lacustris* werden trüb. Die Empfindlichkeit der Eier sinkt im Laufe der Entwicklung auf ein Zehntel. Unbefruchtete Eier bewahren die ursprüngliche Empfindlichkeit. Die Eitrübung ist durch den Globulinausfall bedingt. Die mit den gerade nicht mehr tötenden Stromstärken behandelten Embryonen sind früher geschlüpft. Dies ist durch eine Membranzerstörung bedingt. Die histologische Untersuchung zeigt keine Entwicklungsunterschiede. Vom 38. Tag nach der Befruchtung kann Galvanotropismus im Ei ausgelöst werden.

*11. Mai.*

Das k. M. Prof. *O. Abel* übersendet folgenden vorläufigen Bericht über die wissenschaftlichen Ergebnisse der Ausgrabungen in der Drachenhöhle in Steiermark von Dr. *Kurt Ehrenberg:* **Die bisherigen Ergebnisse der Untersuchungen über die Gebißentwicklung und den Zahnwechsel beim Höhlenbären aus der Drachenhöhle bei Mixnitz.** Die zahlreichen Funde von Resten junger Exemplare von *Ursus spelaeus Ros.* in der Drachenhöhle bei Mixnitz in Steiermark, die den verschiedensten Entwicklungsstadien angehören, haben es ermöglicht, die ontogenetische Entwicklung dieser Art zu verfolgen.

Prof. *F. Aigner* übersendet eine Abhandlung, betitelt: **Zur Resonanztheorie des Farbensehens.** Der Versuch, unter Benutzung des Zahlenmateriales der König-Dietericischen Grundempfindungskurven durch Transformation ein Eichfarbentripel zu finden, für das sich die Gestalt der Eichkurven in Resonanzkurven verwandelt, liefert für das Mitschwingungsmaximum der Rotresonatoren die Stelle des Blaukomplementes der Grundempfindungen, für das der Grünresonatoren die Wellenlänge der maximalen Zapfenkurvenordinate. Der Blauresonator ist ein gekoppeltes Gebilde aus zwei im ungekoppelten Zustand auf das Rotkomplement abgestimmter Resonatoren.

*18. Mai.*

Das k. M. Prof. *Stefan Meyer* übersendet eine Abhandlung, betitelt: **Die Zahl der von einem α-Teilchen von RaC erzeugten Ionenpaare,** von *Hilda Fonovits-Smereker.* Die bisherigen Bestimmungen der Zahl $n$ der Ionenpaare, die von einem α-Strahl erzeugt werden, haben noch zu keinem definitiven, verläßlichen Resultat geführt. Zuletzt fand *H. Geiger* auf indirektem Wege für RaC $n = 2{,}37 \cdot 10^5$. In vorliegender Arbeit wurde auf direktem Wege die Zahl $n$ für RaC in Luft gemessen, und zwar durch Bestimmung des Sättigungsstromes einer mit RaC einseitig aktivierten Metallfolie und des Radiumäquivalents dieser Folie durch Vergleich mit einem Radiumstandardpräparat. Das Mittel aus 15 Messungsreihen ergab:

$$n = 2{,}20 \pm 0{,}02 \cdot 10^5$$

Aus der Geigerschen Beziehung $n = n_0 R_0^{3/2}$ wurde für alle anderen α-strahlenden Substanzen die Zahl $n$ berechnet.

Das k. M. *Fritz Kerner-Marilaun* überreicht eine Arbeit mit dem Titel: **Das akryogene Seeklima und seine Bedeutung für die geologischen Probleme der Arktis.** Es wird gezeigt, daß die verschiedenen Berechnungen des reinen Seeklimas für die hohen Breiten zu tiefe Werte ergeben, weil die ihnen zugrundeliegenden Temperaturen im Südpazifik durch Fernwirkungen der Antarktis etwas herabgeminderte sind und die zonale Wärmeänderung für eine durch polare Gletscherbedeckung unbeeinflußte Wasserhalbkugel, das „akryogene" Seeklima bestimmt.

*26. Mai.*

Das w. M. Hofrat Prof. *Hans Molisch* legt eine von Oberbaurat Ing. *Richard Baecker* im pflanzenphysiologischen Institut der Universität Wien durchgeführte Arbeit vor, unter dem Titel: **Über ausziehbare Gefäß- und Bastbündel und Schraubenbänder.** Die Ausziehbarkeit der Fibrovasalbündel und Zentralzylinder ist auf das Vorhandensein eines geschlossenen, im Querschnitte einfach (meist kreisförmig) konturierten, aus dickwandigen Zellen bestehenden Stereomzylinders sowie darauf zurückzuführen, daß die radialen Membranen der Zellen des an das Stereom unmittelbar anschließenden Gewebes sehr dünnwandig, in einzelnen Fällen sogar mit feinen Tüpfeln versehen sind.

*16. Juni.*

Das w. M. *Felix M. Exner* überreicht folgende Arbeit: **Zur Theorie der Hochwässer, Wanderwellen auf Flüssen und Kaltluftwellen in der Atmosphäre.** Die Wellenbewegungen strömender Flüssigkeiten, sei es Wasser oder Luft, werden in der Natur durch so vielfache Einflüsse in ihrer regelmäßigen Erscheinung behindert, daß es nicht lohnt, stets die strenge Hydrodynamik auf sie anzuwenden, die über das Verhalten jedes einzelnen Flüssigkeitsteilchens prinzipiell Aufschluß zu geben bestrebt ist. Es wurde daher versucht, eine vereinfachte, gröbere Darstellungsweise zu finden, die wesentlich darauf beruht, daß als Massenelement einer strömenden Flüssigkeit jene Masse angesehen wird, die vom Flußbett, der Oberfläche und 2 Querschnitten durch den Fluß begrenzt sind. Damit lassen sich auf einfache Weise angenäherte Berechnungen der Wellenerscheinungen durchführen, auch mit Berücksichtigung der äußeren Reibung.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. *Dr. Arnold Berliner,* Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW 19.